Quantitative Skelettszintigraphie des Schädels mit Tc-99m-Sn-Pyrophosphat bei Patienten mit Sinusitis maxillaris im Vergleich zu Gesunden

Jakob Rauscher

1979

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535722_0044

AUS DER KLINIK UND POLIKLINIK

FÜR RADIOLOGIE

DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

DIREKTOR: PROFESSOR DR. J. LISSNER

==========

QUANTITATIVE SKELETTSZINTIGRAPHIE DES SCHÄDELS MIT Tc-99m-Sn-PYROPHOSPHAT BEI PATIENTEN MIT SINUSITIS MAXILLARIS IM VERGLEICH ZU GESUNDEN

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE IN DER GESAMTEN MEDIZIN

AN DER LUDWIG MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

VORGELEGT VON

Jakob RAUSCHER

AUS

WEILACH

MÜNCHEN 1979

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

1. Berichterstatter: Prof. Dr. K.W. Frey
2. Berichterstatter: Prof. Dr. J. Lissner
Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 23.10.1979

DISSERTATIONS– UND FOTODRUCK FRANK
8 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2 8 0 9 0 9 0

Für die Überlassung der klinischen Untersuchungsbefunde danke ich dem Direktor der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenkranke der Universität München, Herrn Prof.Dr.H.H. Naumann sehr herzlich.

Inhalt

		Seite
I.	Einleitung und Aufgabenstellung	1
II.	Stand der Skelettszintigraphie heute	2
	A. Geschichtliche Entwicklung bis zur Gegenwart	2
	B. Anwendungsbereiche der Skelettszintigraphie	6
	C. Klinische Erfahrungen mit der Skelettszintigraphie des Schädels	10
III.	Untersuchungsmethodik	12
	A. Eigenschaften des verwendeten Radiopharmakons	12
	1. Chemisch-physikalische Merkmale	13
	2. Osteotropes Verhalten	13
	3. Günstigste Untersuchungszeit nach Injektion der Dosis	15
	4. Strahlenbelastung	16
	B. Herstellung und Dosierung des Radiopharmakons	17
	C. Apparative Ausrüstung und deren Handhabung	19
	D. Patientengut	23
	E. Quantitative Auswertung der Szintigramme	26
	1. Eichmessungen mit einem Keilphantom	27
	2. Festlegung der Meßstellen und Vorgehen bei Ausführung	38

Seite

IV. Ergebnisse 34

A. Szintigraphie des gesunden Schädels 34

1. Frontale Projektion 34

2. Seitliche Projektion 39

B. Szintigraphie bei Sinusitis maxillaris 42

1. Frontale Projektion 42

2. Seitliche Projektion 54

3. Beide Projektionen 59

V. Diskussion 61

A. Methode 61

1. Zuverlässigkeit 61

2. Praktikabilität 64

B. Ergebnisse 65

1. Schädelszintigraphie bei gesunden Kieferhöhlen 65

2. Schädelszintigraphie bei Sinusitis maxillaris 67

VI. Zusammenfassung 75

VII. Literaturaufstellung 77

Quantitative Skelettszintigraphie des Schädels mit Tc-99m-Sn-Pyrophosphat bei Patienten mit Sinusitis maxillaris im Vergleich zu Gesunden

I. Einleitung und Aufgabenstellung

Die Skelettszintigraphie mit osteotropen Radiopharmaka hat sich besonders seit der Einführung der Tc-99m-Sn-Polyphosphatverbindungen einen festen Platz in der nuklearmedizinischen Diagnostik erobert.

Trotz der Fülle experimenteller und klinischer Arbeiten ist dabei bisher der Szintigraphie des Gesichtsschädels nur verhältnismäßig geringe Aufmerksamkeit geschenkt worden. Vor allem sind 2 Problemkreise noch nicht ausreichend untersucht worden:

1. Es gibt fü- Tc-99m-Sn-Pyrophosphat noch keine quantifizierenden Untersuchungen, die sich mit dem normalen Speicherungsmuster des Schädelskeletts beschäftigen. Damit ist auch die Frage, ab welcher Grenze von einer pathologischen Anreicherung gesprochen werden kann, nicht genau zu beantworten.

2. Es ist nicht systematisch untersucht worden, in welchem Prozentsatz entzündliche Nasennebenhöhlenerkrankungen zu pathologischen Speicherungen führen. Daher ist die Frage, inwieweit eine pathologische Anreicherung im Sinne der Frage 1 für ein malignes Geschehen gewertet werden kann. noch nicht mit Sicherheit zu beantworten.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit bestand in der Lösung dieser beiden Probleme.
Dazu wurde an 19 gesunden Personen das normale Speicherungsmuster des Schädels mit Tc-99m-Sn-Pyrophosphat in quantitativer Weise ermittelt. Außerdem wurden 48 Patienten mit chronischer Sinusitis maxillaris daraufhin untersucht, ob und wenn ja, in welchem Prozentsatz pathologische Anreicherungen auftreten.

II. Stand der Skelettszintigraphie heute

A Geschichtliche Entwicklung bis zur Gegenwart

Die nuklearmedizinische Knochendiagnostik war in der ersten Phase charakterisiert durch die Verwendung von radioaktiven Calciumisotopen und Calciumanalogen als Knochensucher, wie z.B. Sr-85 und Sr-87m, daneben seltener F-18. Als erste radioaktive Substanz, die durch den Kernreaktor hergestellt wurde, ist Sr-85 benutzt worden. De Treadwell und Mitarb. (16) untersuchten den Mineralstoffwechsel bei malignen Knochentumoren und fanden den Tracer in neoplastischen Knochengewebe stark angereichert. Ein wichtiger Schritt in der Entwicklung der Nuklearmedizin wurde 1951 von Cassen getan, als er die Szintigraphie mit bewegtem Dedektor konzipierte und verwirklichte. Das Prinzip besteht darin, daß ein in bestimmter Weise kollimierter Meßkopf den interessierenden Körperabschnitt mäanderförmig abfährt.

Die auf den jeweiligen Abschnitten registrierten Impulse werden gleichzeitig als Punkte dargestellt. Dadurch entsteht ein Raster, das die quantitative Verteilung des strahlenden Stoffes wiedergibt. Diese Methode ist nur bei Verwendung von Gammastrahlern durchführbar, da nur diese von außen zu erfassen sind. Weitere wichtige Resultate ergaben die Arbeiten von Bauer und Mitarb., als sie nachwiesen, daß osteotrope Nuklide bei Frakturen und Infektionen angereichert wurden. Gyning (30) gelang 1961 erstmals der Nachweis, daß szintigraphisch Knochenmetastasen erfaßbar sind, bevor sich die Knochenstrukturen radiologisch sichtbar verändern. Im selben Jahr führte Fleming die Fotoregistrierung in die Szintigraphie ein. Anstelle von Punkten oder Druckmarken erfolgt die Verteilungsdarstellung der Impulse durch die Schwärzung eines Röntgenfilms.

Die Bereicherung der Diagnostik durch knochenszintigraphische Methoden wurde in den nachfolgenden Jahren fortgesetzt durch Arbeiten von Correy, der seine Studien mit Ca-47 durchführte. Außerdem wurde eine Reihe von Monographien, in der Hauptsache von Charkes und Sklaroff, Bauer, de Nardo und Mitarb., Frey und Mitarb., Kolar und Mitarb. während der 60er Jahre publiziert. Gemeinsamer Gegenstand der Forschungen waren Radiotoxizität, Pharmakokinetik und Substratspezifität der verfügbaren osteotropen Substanzen, vergleichende Untersuchung untereinander und allgemeine Prüfung des Aussagewertes der Knochenszintigraphie verglichen mit röntgenologischen Befunden. Der gemeinsame Nenner aller Mitteilungen war die Erkenntnis, daß die Knochenszintigraphie eine sinnvolle Ergänzung der Röntgendiagnostik, hauptsächlich bei der Suche nach primären und sekundären Tumoren, darstelle. Die Bedeutung der Skelettszintigraphie liegt u.a. in ihrer Eigenschaft, Knochenmetastasen bis zu 6 Monaten früher als durch das Röntgenbild nachzuweisen (13, 29). Zur selben Zeit wurden aber auch die Nachteile der verwendbaren Tracer deutlich. F-18, wegen geringer Strahlenbelastung und hohen "Target-Nontarget"-Verhältnisses als optimaler Knochensucher erkannt (22), ist nur in Reaktornähe wirtschaftlich einsetzbar und deshalb für eine größere Verbreitung ungeeignet. Sr-85 erwies sich für die Erkennung verstärkter Osteoblastentätigkeit am spezifischsten (3), ist jedoch mit einer hohen Strahlenbelastung verbunden und verlangt eine Wartezeit von 2-7 Tagen zwischen Injektion und Szintigraphie. Im Gegensatz dazu ist Sr-87m auf Grund der kurzen Halbwertszeit mit einer geringeren Strahlenbelastung verbunden, stellt jedoch nur den rasch austauschbaren Calcium-Pool dar und zeigt zudem nach einem Untersuchungsintervall von 4-6 Stunden noch eine starke Hintergrundaktivität (47).

Nicht zuletzt wegen dieser Unzulänglichkeiten ging die Suche nach anderen Radiopharmaka weiter. Subramnian und McAfee (51) entdeckten 1971 eine neue Substanz, die mit dem kurzlebigen Tc-99m markiert werden konnte und eröffneten damit eine neue Phase in der nuklearmedizinischen Skelettdiagnostik. Während früher Radionuklide in iogener oder molekularer Form als Tracersubstanzen eingesetzt wurden, werden nun knochenaffine, komplexe Verbindungen mit radioaktiver Markierung verwendet. Die zuerst entdeckte Verbindung Tc-99m-Sn-Tripolyphosphat wurde bald wegen ihres im Vergleich zu Sr-85 hohen Blutspiegels, ihrer Instabilität und störender Nierenanreicherung ersetzt durch das Tc-99m-Sn-Polyphosphat mit einem Molekulargewicht zwischen 4000-6000 (50). Im nächsten Jahr kamen zwei weitere Phosphatverbindungen hinzu: das ebenfalls von Subramanian beschriebene Tc-99m-Sn-Diphosphat (51) und Tc-99m-Sn-Pyrophosphat, das zum ersten Mal von Cohen und Miarb. (15) empfohlen wurde.

Seit Einführung dieser Phosphatverbindungen des Technetiums wurden bis heute keine Tracer mehr gefunden, welche die klinische Diagnostik wesentlich bereichern konnten.

Von den tierexperimentellen und klinischen Erfahrungen mit Vergleichsuntersuchungen zwischen Tc-99m-markierten Phosphatkomplexen und den herkömmlichen Knochensuchern wurd vor allem ab 1973 in größerem Umfang berichtet. In einer z.T. klinischer Studie verglich Hosain et al. (36) alle bekannten Tracer untereinander, wobei sich, abgesehen von F-18, Diphosphat als Mittel der Wahl wegen seiner geringen Weichteilaktivität erwies. Pyrophosphat war nach seinen Angaben die günstigste Substanz, was Herstellung, Reproduzierbarkeit und Szintigrammqualität betraf. Ackerhalt (1) kam zu einem ähnlichen Resultat, indem er Pyrophosphat und EHDP (Diphosphonat), hinsichtlich biologischer Eigenschaften, wie Blutclearance und Weichteilaktivität, als dem F-18 am ähnlichsten erkannte.

In einer Gegenüberstellung Sr-85 und Tc-99m-Pyrophosphat (44) wurde wegen der Möglichkeit einer höheren Dosierung und der für das Auflösungsvermögen der verwendeten Kollimatoren günstigeren photonenenergie des Tc-99m eindeutig mehr Anreichungsherde mit Pyrophosphat gefunden. Daten, die aus vergleichenden tierexperimentellen Versuchen gewonnen wurden, favorisieren nach Büll, Balser und Frey (9) Tc-99m-Pyrophosphat nicht nur gegenüber Sr-85, sondern auch gegenüber Tc-99m-Diphosphonat beinuklearmedizinischen Untersuchungen des Skelettsystems. Im Gegensatz dazu wurde in einer 1975 veröffentlichten englischen Studie (14) dem Diphosphonat der Vorzug gegeben, unter anderem wegen der wegen der vergleichsweise niedrigen Blut- und Weichteilaktivität und deshalb auch wegen der geringeren Strahlenbelastung.

B. Anwendungsbereiche der Skelettszintigraphie

In den letzten Jahren zeigte sich, daß verschiedene Autoren, die sich eingehend mit der Kinetik der knochenaffinen Radioisotopen beschäftigen, etwas voneinander abweichende Ergebnisse erhielten. Doch trotz mancher divergierender Detailergebnisse bleibt die Metastasenfahndung als absolute Indikation zur Knochenszintigraphie unbestritten (18, 28, 23, 38, 41, 52). Besonders gut darstellbar erwiesen sich die osteoblastischen Tochtergeschwülste, wie z.B. des Mamma-, Prostata- und Bronchialkarzinoms. Aber auch ein großer Teil der osteolytischen oder gemischt osteolytisch-osteoblastischen Metastasen führt zu szintigraphisch erfaßbaren Anreicherungen.

Eine im Vergleich zu den metastatischen Prozessen seltene Indikation stellen die osteogenen Tumore dar. Hier geht in der Regel aufgrund symptomatischer Beschwerden eine gezielte Röntgendiagnostik voraus. Der Knochenszintigraphie fällt in diesem Fall die Aufgabe zu, genau abzuklären, wieweit sich der Tumor, insbesondere im Mark der langen Röhrenknochen,ausdehnt, wo ja der Befall wegen des geringfügig verminderten Kalksalzgehalts röntgenologisch schlecht erkennbar ist (8, 18). Bei diesen Untersuchungen ist festgestellt worden, daß knochenszintigraphisch keine Aussage über die Malignität eines Tumors möglich ist (18). Diese Erkenntnisse wurden neuerdings von Piaszek und Mitar. (42) bestätigt, die beim Morbus Paget eine sehr intensive Nuklidanreicherung, bei manchen Knochensarkomen jedoch nur eine relativ geringe radioaktive Mehrbelegung gefunden haben. Die meisten osteogenen Sarkome speichern jedoch sehr intensiv. Ferner haben langsam wachsende osteolytische Knochenmetastasen häufig szintigraphisch negative oder nur geringe Befunde.

Bei der Verlaufkontrolle von Tumoren mit bevorzugter Skelettmetastasierung und zur Früherkennung von Metastasen wurde die nuklearmedizinische Skelettdiagnostik in letzter Zeit immer häufiger herangezogen. Einige voneinander unabhängige Arbeiten (13, 29, 34) belegen den Vorteil der Szintigraphie, daß Knochenmetastasen machmal 3-6 Monate früher als auf dem Röntgenbild zu erkennen sind. Nicht zuletzt wir die Skelettszintigraphie auf dem Gebiet der onkologischen Erkrankungen zur Therapiekontrolle verwendet. So wurde beschrieben (26), daß bei Konsolidierungen nach der Bestrahlung und/oder der zytostatischen Therapie eine geringere Anreicherung als im Zustand der Progredienz eintritt. Im Verlauf einer Rekalzifizierung osteolytischer Metastasen beobachtete man anfänglich eine Mehranreicherung als Zeichen der Heilungstendenz.

Der Beitrag der Nuklearmedizin zur Diagnostik der Skelettsystemerkrankungen ist noch ständig im Anwachsen begriffen. Bisher bezog er sich größtenteils auf kinetische Untersuchungen des Ca- und Sr-Stoffwechsels (18, 34, 39, 45), zum geringeren Teil auf szintigraphische Untersuchungen, die quantitativ ausgewertet wurden (2, 4, 5, 20). Entwicklungsstörungen des Skeletts wurden im allgemeinen nur klinisch und röntgenologisch diagnostiziert, weil sie in der Regel schlecht, wenn überhaupt, radioaktiv anreichern. Im Gegensatz dazu sind bei der fibrösen Dysplasie sowie beim Morbus Paget (6, 53) eine meist sehr intensive bis auf das Vielfache der normalen Knochenspeicherung betragende Anreicherung zu beobachten. Die Aktivitätsverteilung beim primären Hyperparathyreoidismus ermöglicht es ebenso, die Szintigraphie zur Erkennung befallener Skelettabschnitte einzusetzen, da sowohl über dem betroffenen Schädelknochen als auch über den Knochenzysten der Röhrenknochen und des Stammskeletts intensive Speicherungen registriert wurden. Von den Systemerkrankungen bedarf auch das Plasmozytom der Erwähnung, weil es eine größere Anzahl von falsch-negativen Befunden aufgewiesen hat.

Bei der Osteodystrophia defomans Paget sollte wie bei der Suche nach Knochenmetastasen immer die Ganzkörperskelettszintigraphie verwendet werden, da diese Krankheit an mehreren Stellen auftritt. Durch raschen Knochenauf- und abbau bewirkt sie bei allen Knochensuchern die massivste Speicherung (54),

Die szintigraphische Diagnostik bei Gelenkerkrankungen gewnn in letzter Zeit an Bedeutung. Nach Angaben von Büll u.a. (11) ist die Anreicherung der Phosphate in den befallenen Gelenken teilweise einer erhöhten Weichteilaktivität, einer erhöhten Stoffwechselaktivität an der Knorpel-Knochengrenze und evtl. einem vergrößerten Blutpool zuzuschreiben. Bei den Arthrosen sind die Radioaktivitätsverteilungen geeignet, Rückschlüsse auf Lokalisation und Aktivität zu geben (5). Die entzündlichen Gelenkerkrankungen speichern nach Büll (11) unspezifisch, ausgeheilte Entzündungen zeigen keine Aktivitätskonzentration, sind also dem röntgenologischen Nachweis besser zugänglich. Aus demselben Grund erscheint die Szintigraphie beim Morbus Bechterew problematisch, da, abgesehen vom akuten Entzündungsstadium, bereits entzündlich veränderte, aber schon ausgeheilte Gelenke nicht mehr vermehrt anreichern. Die Aufgabe der Knochenszintigraphie wird sich hier auf eine Verlaufskontrolle der zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung entzündeten Gelenke beschränken müssen (10).

Von den entzündeten Erkrankungen hat sich die Osteomyelitis besonders gut dokumentieren lassen (43). Bei diesem Krankheitsbild, insbesondere bei hämatogenen Osteomyelitiden, ist die Szintigraphie vor allem zur Früherkennung bei noch negativem Röntgenbefund und zu ihrer genauen Lokalisation angezeigt.

Zur Verlaufskontrolle bei schlecht heilenden Frakturen wird die Szintigraphie ebenfalls eingesetzt. Den Berichten von Fill u.a. (19) zufolge erreicht die Pyrophosphatanreicherung im Frakturbereich unter normalen Umständen um den 10. Tag nach dem Trauma ein Maximum, während sie dann in der Folge koninuierlich abnimmt. Bei gestörtem Heilungsprozeß ist hingegen eine verstärkte Anreicherung ab 80 Tagen nach der Fraktur nachweisbar, welche dann über mehrere Monate hinweg dauern soll.

Durch die ständige Verbesserung der apparativen Technik und durch die Entwicklung neuerer und spezifischer Radiopharmaka müssen die zur Zeit geltenden Indikationen laufend den neuesten Erkenntnissen angepaßt werden. Damit ist eine ständige Revision und Ausdehnung der jetzigen Indikationsliste zur Knochenszintigraphie zu erwarten.

C. Klinische Erfahrungen mit der Skelettsintigraphie des Schädels

Die Skelettszintigraphie wurde zur Diagnostik des Gesichtsschädels bisher nur wenig eingesetzt.

Erstmals wurden quantitative Bestimmungen der Aktivitätsverteilung über dem Gesichtsschädel und der Schädelbasis mit Sr-85 vom Münchener Arbeitskreis um Frey et al. (26, 24) durchgeführt. Heenemann (31) ermittelte mit einem Schlitzkollimator von 1x10 cm Lichte die Aktivitätsverteilung im Längs-, Quer- und Seitenprofil und bestimmte zugleich die 2s-Streuung der Normalverteilung. Er verglich die Ergebnisse der Profilmessungen mit dem lokalen Sr-85 - und Sr-87m-Szintigramm und fand entsprechende Übereinstimmung der Profilkurve mit dem Szintigramm. Die klinische Anwendung der Szinitigraphie mit Sr-85, Sr-87m und in den letzten 7 Jahren insbesondere mit den Tc-99-Phosphaten (Phyrophosphat, Polyphosphat und neuerdings meist Diphosphonat) wurde sowohl bei gutartigen als auch bei bösartigen Erkrankungen der Nasennebenhöhlen und der Schädelbasis (23, 24, 25, 26, 40, 39, 55, 56) als auch bei Verlaufskontrollen in der Strahlentherapie (26, 27) erprobt. Insbesondere die zuletzt genannten Arbeiten mit exaktem Vergleich der Speicherung vor und nach Stahlentherapie, die alle mit den Tc-99-Phosphaten durchgeführt wurden (26, 27), gründen sich auf die Kenntnis der quantitativ ermittelten Aktivitätsverteilung bei Gesunden, wie sie von mir 1976 im Rahmen der vorgelegten Arbeit bestimmt wurde.

Davon unabhängig und ohne Anwendung einer quantifizierenden Methode wurden Untersuchungen von Wickenhauser (55) an Patienten mit chronischer Sinusitis vorgenommen. Von 105 Patienten wurde bei 97% eine Skelettbeteiligung erhoben. Außerdem berichtet er über Erfahrungen mit der Skelettszintigraphie im Rahmen der Tumordiagnostik des Schädels (56). Dabei wies er auf die Problematik hin, die bei der Beurteilung von Verlaufskontrollen tumoröser Geschehen nach Therapie auftritt.

III. Untersuchungsmethodik

A Eigenschaften des verwendeten Radiopharmakons

1. Chemisch-physikalische Merkmale

Für alle Untersuchungen wurde Tc-99m-Sn-Pyrophosphat verwendet. Das Radionuklid Tc-99m ist ein reiner Gammastrahler mit der Halbwertszeit von 6 Stunden. Es entsteht aus Mo-99, das in einem Reaktor aus Mo-98 hergestellt wird. Durch Beta-Zerfall und anschließende Gammastrahlungen entsteht aus Mo-99 entweder Tc-99m (87,6% des Mo-99-Zerfalls) oder Tc-99 (12,4% des Mo-99-Zerfalls). Das zur Patientenuntersuchung verwendete Radionuklid zerfällt durch isomere Umwandlung zu Tc-99 und emittiert teilweise konvertierte Gammaphotonen von 142 oder 140 und 1 keV. Die effektive Leistung der 140 keV-Gammastrahlung beträgt 88,3% des Gesamtzerfalls von Tc-99m. Tc-99 zerfällt durch reine Betastrahlung zu stabilem Ru-99 mit einer Halbwertszeit von 2.12×10^5 Jahren. Aufgrund der langen Halbwertszeit dieser Substanz und ihrer verhältnismäßig raschen Ausscheidung darf ihr Anteil an der gesamten Strahlenbelastung des Patienten außer acht gelassen werden.

2. Osteotropes Verhalten

Das für diese Arbeit benutzte osteotrope Radiopharmakon gelangt nach intravenöser Injektion auf dem Blutweg in das Skelttsystem, wo es bevorzugt gespeichert wird. Trotz einer Fülle von Untersuchungen über die Biokinetik von Tc-99m-Sn-Phosphatkomplexen ist ihr genauer Einspeicherungsmechanismus bis heute weitgehend unbekannt. Die radioaktiv markierten Komplexe gelten als Fremdstoffe mit Ausnahme des Pyrophosphats, das in geringen Mengen auch physiologisch im Knochen vorkommt. Aufgrund der chemisch-physikalischen Gemeinsamkeiten sind sich alle Phosphatverbindungen in ihrem Anlagerungsmechanismus weitgehend ähnlich und können in dieser Hinsicht gleich behandelt werden. Das Zielorgan der osteotropen Substanzen, der Knochen, besteht in seiner ausgereiften Form aus Hydroxylapatit-Kristallen. Diese kleinen Einheiten der Knochenstruktur sind ca 600-700 AE dick und nadelförmig. Ein Gramm dieser Kristalle besitzt nach Holmes (35) eine Oberfläche von 200 qm, eine günstige Voraussetzung für die Akkumulation der Phosphatkomplexe. Dabei kommt Adsorptionsvorgängen eine große Bedeutung zu (21), im Gegensatz zum Strontium, bei dem nach einigen Tagen ein fester Einbau in den Kristall stattgefunden hat. Diesen physiologischen Oberflächenverhältnissen zufolge wird es verständlich, daß der Gehalt an Tc-99m-Phosphaten in spongiösem Knochen größer ist, als im kompakten Anteil. Neben der Abhängigkeit der Komplexanreicherung von der Kristalloberfläche wird auch der regionalen Knochendurchblutung als determinierende Größe der Osteotropie eine entscheidende Rolle beigemessen (15),

Bei Änderung des Calciumstoffwechsels im Knochen kommt es zu einer Mehr- oder Minderanreicherung des Radiopharmakons an der Stelle der veränderten Stoffwechselaktivität. Diesen Umstand macht man sich zunutze, um die Knochenumbauvorgäne zu lokalisieren und in ihrer Intensität zu erfassen.

3. Günstigste Untersuchungszeit nach Injektionen der Dosis

Hinsichtlich des empfohlenen Zeitpunktes des Szintigraphiebeginns bei Verwendung von Tc-99m-Pyrophosphat sind in voneinander unabhängigen Arbeiten keine wesentlichen Differenzen zu finden. Henne und Mitarb. (33) empfehlen, nach Applikation der Dosis etwa 3 Stunden zu warten. Bei älteren Patienten mit entsprechend langsameren Knochenstoffwechsel zeigte sich häufig ein noch relativ hoher Blutspiegel, so daß die Szintigraphie 5-6 Stunden nach der Gabe des Radiopharmakons ein besseres Ergebnis lieferte. Büll und Frey (8) empfehlen 1973 in ihren Untersuchungen zur Knochenanreicherung 2-4 Stunden p.i. als geeignete Szintigraphiezeit. Nach Fill et al. (19) liegt der günstigste Zeitpunkt für die Untersuchung 3-6 Stunden nach Dosis-Applikation, da nach diesem Zeitabschnitt einerseits noch genügend Aktivität im Skelettsystem vorhanden ist, um eine gute Bildqualität zu ermöglichen, anderseits aber durch die rasche Elimination der Substanz aus dem Kreislauf und aus den Nieren ein guter Kontrast zu erwarten ist. Die zeitabhängige Bildqualität bei Gebrauch von Tc-99m-Pyrophosphat wurde ferner von Snow und Mitarb. (47) getestet. Sie erhielten die besten Bilder mindestens 3 Std. nach der Injektion. Eine längere Wartezeit als 3-4 Stunden bringt ihren Ergebnissen zufolge keine nennenswerten Gewinne an diagnostischer Genauigkeit.

4. Strahlenbelastung

Die heutigen Kenntnisse in der Skelettszintigraphie beweisen, daß durch Tc-99m-Phosphate nur ungefähr ein Zehntel der Strahlenbelastung, verglichen mit Sr-85, verursacht wird. Allein F-18, das wegen seiner schlechten Verfügbarkeit als Radiopharmakon für Routinediagnostik nicht zur Diskussion steht, zeigte eine noch geringere Strahlenbelastung. Zum Vergleich sind in Tabelle 1 einige Nuklide mit ihren physikalischen und strahlenbiologischen Eigenschaften den Tc-99m-Phosphatkomplexen gegenüber gestellt. Die angegebenen Zahlen zur Strahlenbelastung entstammen Tabellen von Asnis und Mitarb., Castronovo und Mitarb., Dreyer und Georgi, Silberstein und Mitarb., Yano und Mitarb. (2, 12, 18, 45, 58).

Radio-pharmakon	Sr-85	F-18	Tc-99m-Pyrophosphat
mittl.appl. Aktivität in mCi	0,2	1-2	3-6
Physik. HWZ	64 Std.	1,8 Std.	6 Std.
Energie in MEV	0,514	0,511	0,140
Strahlendosis in mrad			
Knochen	4-5500/mCi	20/mCi	27-45/mCi
Ganzkörper	600-2300/mCi	20/mCi	11-15/mCi

Tab. 1

Die von Weber et al. (57) durchgeführten Berechnungen der Strahlendosis beim Einsatz von Tc-99m-Pyrophosphat bestätigen obige Zahlen. Als Ganzkörperdosis fand er statt 11-15/mCi eine allerdings etwas niedrigere Dosis von 8 mrad/mCi. Piaszek et al. (42) zitieren in einer tabellarischen Obersicht über die gebräuchlichsten Nuklide für Tc-99m-Pyrophosphat eine nach oben abweichende Knochenbelastung von 60 mrad/mCi.

B. Herstellung und Dosierung des Radiopharmakons

Für die Herstellung von Tc-99m-Sn-Pyrophosphat wurde ausschließlich das Markierungsbesteck von der Firma Isotopendienst West GmbH unter dem Handelsnamen TCK-7 verwendet. Das Besteck besteht aus Stechampullen, von denen jede ein gefriergetrocknetes Gemisch aus Natriumpyrophosphat, Zinnchlorid, Natriumchlorid und Natriumhydroxid unter Stickstoffatmosphäre enthält. Die Ampullen wurden in einem Kühlschrank bei der vorgeschriebenen Temperatur von 2-8° C aufbewahrt.

Um das markierte Pyrophosphat herzustellen, wurden 3 ml steriles, pyrogenfreies Wasser (Ampuwa ^{R}) in eine Stechampulle injiziert. Anschließend wurde solange kräftig geschüttelt, bis die Lösung klar war. Nachdem nun die Ampulle in einem passenden Bleibehälter zur Strahlenabschirmung deponiert worden war, wurde eine für etwa drei Untersuchungen reichende Menge von Tc-99m-Pertechnat hinzugefügt. Bei jeder Einspritzung durch den Gummi war darauf zu achten, eine Belüftung der Ampulle zu vermeiden, damit der Stickstoffdruck erhalten blieb. Danach wurde nochmals kräftig geschüttelt.

Die radioaktive Substanz wurde aus einem Generator gewonnen, der von der Firma Duphar mit der Handelsbezeichnung DRM 4322 Stercow Tc-99m angeboten wird. Der Generator enthält Tc-99m im Gleichgewicht mit Mo-99, das an einer vorbehandelten, von einer Patrone umhüllten Aluminiumoxydsäure adsorbiert ist, die mit einem Plastikbeutel mit Elutionsmittel verbunden ist. Die daraus eluierte Flüssigkeit enthält das radioaktive Technetium in Form von Natrium- Tc-99m-Pertechnat, das zur Markierung des Phosphatverbindung verwendet wird.

Die auf diese Weise gewonnene fertige Lösung ist immer farblos und hat einen ph-Wert von 6-6,5. Ihre radiochemische Reinheit wird vom Hersteller des Markierungsbestecks mit einem Gehalt an freiem Tc-99m-O_4 von weniger als 5% beziffert. Für die intravenöse Injektion des Radiopharmakons wurde eine 5 ml-Einwegspritze mit der hergestellten Lösung gefüllt und anschließend der Inhalt auf seinen Radioaktivitätsgehalt hin überprüft. Dafür wurde ein von Siemens hergestelltes Gerät mit Marke Curietest verwendet, das zur Bestimmung der Absolutaktivität in der Medizin verwendeter Isotopen konstruiert ist. Es wurde darauf geachtet, daß gesunden Personen keine höhere Aktivität als 3-4 mCi verabreicht wurde, während die an einer Nasennebenhöhlenentzündung erkrankten Patienten eine Aktivität von 4-8 mCi injiziert bekamen.

C. Apparative Ausrüstung und deren Handhabung

Sämtliche Untersuchungen wurden mit einem Scanner von der Firma Siemens, einem Scintimat^{R} II, durchgeführt.

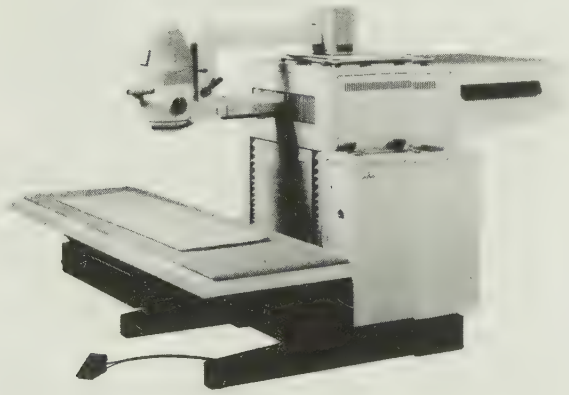


Abb. 1 Scintimat^{R} II, der für alle szintigraphischen Darstellungen benutzt wurde (Werkfoto)

Der für die Bildqualität ausschlaggebende Teil des Scanners ist der Detektor. Er besteht im Prinzip aus einem Kollimator, der in Verbindung mit einem Szintilationszähler steht. Der von mir benutzte Kollimator II besitzt 151 Bohrungen. Das beste Auflösungsvermögen zeigt er bei einer Strahlenenergie von 150 KeV und bei einem Fokusabstand von 130 mm. Er zählt zu den grobfokussierenden Kollimatoren mit einem geometrischen Auflösungsvermögen von etwa 15 mm. Der Meßkopf ist mit

einem 5"-Szintillationskristall bestückt.

Die Einstellung des Gerätes ist problemlos, muß aber nach einer streng eingehaltenen Reihenfolge von Bedienungsschritten erfolgen. Nachdem der Patient auf dem Lagerungstisch liegt, wird er auf der vertikal verstellbaren Liege in eine Höhe gebracht, in der die Fokusebene des Meßkopfes möglichst genau in einer definierten Tiefe des Kopfes erscheint. Dies wird durch ein Lichtvisier ermöglichst, das aus einem Lichtkreuz mit Strickmarken besteht, die - wenn zur Deckung gebracht - die Höhe der horizontal liegenden Fokusebene sichtbar machen.
Es schließt sich nun die sorgfältige Suche nach dem Aktivitätsmaximum an, das auf eine relative prozentuale Aktivität von 95% eingestellt wird. In der Vorderansicht des Schädels war das Maximum stets über der oberen Hälfte der Nase, in der seitlichen Kopflage in der Regel über dem Ohr, manchmal auch unmittelbar hinter dem lateralen Augenwinkel gelegen.

Zur Kontrastanhebung wird eine Untergrundsubtraktion von 15% oder 25% durchgeführt.

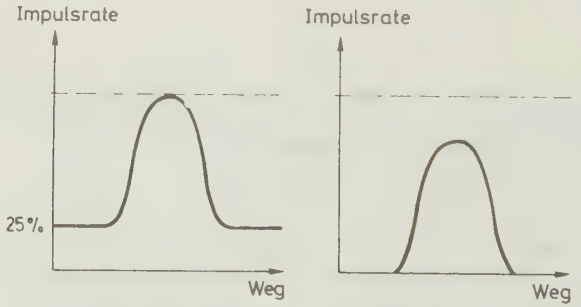


Abb. 2 Subtraktion von 25% der maximalen Impulsrate zur Verbesserung der Bildqualität

Der Scintimat^{R} II registriert gleichzeitig mit zwei verschiedenen Systemen: Mit einem Mehrfarbenstrichdrucker und einem Photolichtschreiber wird die Aktivitätsverteilung im Schädel sowohl auf einem Registrierpapier durch farbige Striche, als auch auf einem Röntgenfilm durch unterschiedliche Belichtung abgebildet. Bei der Color-Sintigraphie werden sechs Impulsratenbereiche durch sechs Farben unterschieden.
Die registrierte Aktivität wird durch folgende Farben in abnehmender Intensität dargestellt: rot, orange, grün, dunkelgrün, blau und grau. Außerdem werden die verschiedenen Impulsraten durch impulsabhängige Strichdichten wiedergegeben. Bei der Fotoaufzeichnung erfolgt die Schwärzung des in Kassetten befindlichen Röntgenfilms durch trägheitslose Miniatur-Indikatorröhren. Alle mit Hilfe von Licht dargestellten Szintigramme wurden zeilenfrei aufgenommen. Durch die flächenhafte Belichtung des Films wird eine Integration längs und quer zur Laufrichtung des Detektors erzielt, die einen Ausgleich der statistischen Schwankungen bewirkt. Der Grauwert des Films ist von der jeweiligen örtlichen Aktivität abhängig.
Eine wichtige Voraussetzung für vergleichbare Bilder ist die einheitliche Lagerung der Patienten und die Beibehaltung der Stellung während der gesamten Untersuchung. Dieses zentrale Problem wurde gelöst, indem der Patient überhaupt auf die Bedeutung einer ruhigen Lage aufmerksam gemacht wurde. Bei frontaler Szintigraphie lag der Patient auf dem Rücken. Während der Anfertigung seitlicher Aufnahmen war er in Bauchlage. Das verwendete Fixierkissen unterstützte die Kopfdrehung, sodaß die Mediane des Schädels ziemlich genau horizontal eingestellt werden konnte.

Die Fokusierung lag beim seitlichen Szintigramm in der Schädelmitte, bei Bildern in Vorderansicht in Höhe der Kieferhöhlen. Die Mehrheit der Probanden wurde frontal und seitlich szintigraphiert. Die Dauer der Untersuchung lag je nach vorgewählter Geschwindigkeit des Detektors zwischen 30 und 40 Minuten. Mit dem Lichtvisier wurden markante Punkte des Kopfes festgehalten, so z.B. Lidspalten und Nasenrücken bei frontaler, äußerer Gehörgang und seitlicher Augenwinkel bei lateraler Projektion. Diese Maßnahme erleicherte wesentlich die topographische Zuordnung der registrierten Aktivitätsverteilung zu Skeletteilen bei der Auswertung.

D. Patientengut

Die für diese Untersuchung ausgewählten Patienten gliedern sich in zwei Gruppen:

1. Personen ohne Kieferhöhlenaffektion

   Von insgesamt 30 Untersuchten sind 19 Bilder in frontaler und ebenso viele in lateraler Projektion erhalten worde, die sich für densometrische Messungen eigneten. Der Rest der Aufnahmen ist wegen technischer Mängel, u.a. durch Vorbelichtung, mangelhafte Entwicklung des Films oder unbefriedigender Bildqualität hervorgerufen, verworfen worden. Etwa die Hälfte der frontalen und seitlichen Aufnahmen stammen von ein und demselben Patienten. Bei allen Untersuchten handelt es sich ausschließlich um Personen, die zur nuklearmedizinischen Verlaufskontrolle einer Frakturheilung von Extremitäten in die Klinik kamen. Da hierfür das gleiche Radiopharmazeutikum wie für meine Szintigramme benutzt wurde, konnte im Anschluß daran die Schädelszintigraphie ohne erneute Dosisapplikation durchgeführt werden. Somit war keine zusätzliche Strahlenbelastung notwendig. Bei sämtlichen Probanden bestand weder anamnestisch noch zum Zeitpunkt der Untersuchung ein klinischer Anhalt für eine chronische oder akute Erkrankung der Nasennebenhöhlen bzw. der Nasenhaupthöhle.

2. Patienten mit Sinusitis maxillaris

   Mit den Symtomen einer Kieferhöhlenentzündung sind 50 Personen szintigraphiert worden. Dabei sind 46 frontale und 46 seitliche Aufnahmen gewonnen worden, deren technische Ausführung den Ansprüchen einer densometrischen Auswertung genügte.

Von insgesamt 44 Patienten des Kollektivs sind Bilder beider Projektionen erhalten worden.

Die chronische Entzündung der Kiefernhöhle entsteht meist auf dem Boden einer nicht ausgeheilten, akuten Sinusitis. Sie läßt sich in zwei Formen unterscheiden: Die erste Form hat einen serös-polypösen Charakter. In der Nebenhöhle bildet sich polypöse Schleimhaut, die durch die Ostien in die Nase vorwachsen kann. Die Beschwerden des Patienten reichen von dumpfen Kopfschmerzen, Nasenverstopfung bis zur Hyposmie oder Anosmie und Rhinolalia clausa bei völliger Verlegung der Nase, und zu Kratzen und Brennen im Hals, wenn es dort durch Sekretabfluß in den Rachen zu einer Entzündung kommt. Solange die Schleimhautpolypen auf das Nasennebenhöhlenvolumen beschränkt sind, ist die Diagnose nur mittels einer Sinuskopie oder röntgenologisch zu stellen. Ansonsten ist die rhinoskopische Abklärung ausreichend. Als Ursache der Erkrankung ist eine Schleimhautdisposition oder eine allergische Komponente anzunehmen. Von der serös-polypösen Entzündung ist die zweite, die eitrige Form der Sinusitis maxillaris zu unterscheiden. Sie ist durch eine mäßig verdickte, oft fibröse Nebenhöhlenschleimhaut gekennzeichnet, die eitriges Sekret absondert. Häufig treten über der erkrankten Nebenhöhle Schmerzen auf, die von einem einseitigen Schnupfen mit eitriger Sekretion aus der Nase begleitet sein können. Die Diagnose der chronischen eitrigen Kieferhöhlenentzündung wird durch die Punktion und Spülung der Kieferhöhle gestellt, bei der sich Eiter entleert. Eine zusätzliche Form der Sinusitis ist dentogenen Ursprungs. Für sie ist hauptsächlich ein dünnflüssiges und sehr fötides eitriges Sekret kennzeichnend (7).

Die Patienten mit Symptomen einer Sinusitis maxillaris kamen ausnahmlos von der HNO-Poliklinik zu einer röntgenologischen Abklärung in die radiologische Poliklinik. Dort wurde von jedem mindestens eine Spezialaufnahme der Nasennebenhöhlen angefertigt, da Obersichtsaufnahmen alleine wegen Oberlagerung der Nebenhöhlen durch Teile der Schädelbasis nicht geeignet sind, die Sinus frei darzustellen. Bei allen Patienten konnte röntgenologisch eine Sinusitis maxillaris gesichert werden. Die Patienten kamen während der Monate März und April 1976 in die Poliklinik und waren, mit Ausnahme einiger Patienten, bezüglich ihres gegenwärtigen Leidens unbehandelt, so daß eine gestörte Aktivitätsverteilung, wie z.B. durch eine Fremdkörperreaktion auslösende Antibiotikaplombe verursacht,zu erwarten war. Andere potentielle Krankheitsherde des Kopfes wurden anamnestisch stets ausgeschlossen. So ist nach Entzündungen im Waldeyerschen Rachenring oder nach Zahngranulomen geforscht worden, da bisherigen Erfahrungen entsprechend dadurch ebenfalls Speicherherde verursacht werden können, die etwaige Speicherungen der Sinusitiden überlagern könnten.

E. Quantitative Auswertung der Szintigramme

Einer der Gründe, warum sich die Knochenszintigraphie bei Nasenhöhlenerkrankungen nicht allgemein durchgesetzt hat und nur an größeren Zentren intensiver betrieben wird, liegt sicherlich auch in der Schwierigkeit einer quantitativen Aktivitätsbeurteilung von Herden. Sie ist bei Verlaufskontrollen, insbesondere jedoch bei der Differentialdiagnose aktiver und weniger aktiver Herde, vor allem zur Abtrennung falsch-positiv als Metastasen gedeuteter degenerativer und entzündlicher Befunde von großer Bedeutung.

Es war also erstrebenswert, auch die im Rahmen dieser Arbeit erstellten Szintigramme des Schädelskeletts quantitativ auszuwerten. Da bei dieser Methode der nuklearmedizinischen Diagnostik mit einem konventionellen Scanner nur ein Teil des menschlichen Skeletts szintigraphiert wird, können zwangsläufig keine absoluten Meßwerte, etwa in Prozenten der Ganzkörperaktivität, ermittelt werden, sondern nur Werte in Relation zu anderen gemessenen Punkten des Schädels. Deswegen kann nur das relative Verteilungsmuster bei der Schädelszintigraphie quantitativ erfaßt werden.

Farbszintigramme zeigen zwar das gleiche Anreicherungsmuster wie Fotoszintigramme, sind aber wegen des groben Materials nur wenig für quantitative Auswertung geeignet. Dagegen ließe sich eine Quantifizierung über eine Strichdichtezählung verwirklichen, was aber mit einem großen Arbeitsaufwand verbunden wäre.

Daher wurde ein Verfahren entwickelt, das mit Hilfe einer densitometrischen Auswertung der Fotoscans eine quantitative Beurteilung erlaubt.

1. Eichmessungen mit einem Keilphantom

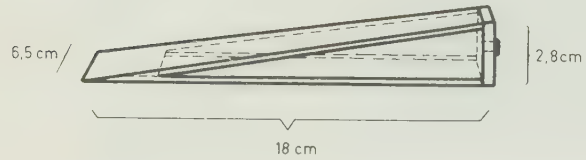


Abb. 3 Zur Eichung verwendetes Keilphantom

Das aus Plexiglas hergestellte Phantom ist 18 cm lang, 6,5 cm breit und hat eine maximale Höhe von 2,8 cm. Die Maße für den wasserdicht begrenzten Hohlraum sind natürlich um die etwa 0,5 cm dicken Wände verkleinert. Mit Wasser gefüllt wird der Keil durch eine Bohrung, die mit einer aus Gummi bestehenden Unterlegscheibe und einer Kopfschraube abgedichtet ist.

Zum Wasser hinzugegeben wurde eine Aktivität von ca 100 Mikro Ci Tc-99m. Das Keilphantom wurde quer auf den Untersuchungstisch des Scanners gelegt und szintigraphiert. Die Fokusebene lag dabei am Boden des Keils. Die maximale Impulsrate wurde auf ca 95 Prozent eingestellt. Die Geschwindigkeit des abtastenden Detektors wurde immer so gewählt, daß stets eine gute statistische Bewertungszahl bei der Szintigrammaufzeichnung gewährleistet war.

Es wurden sowohl Szintigramme mit einer Subtraktionsrate von 15% als auch solche von 25% erstellt.

Nach der Szintigraphie wurde mit dem Meßkopf eine Punktmessung der relativen Impulsrate in Prozent in der Längsrichtung des Phantoms in Abständen von 2 cm durchgeführt. Gleichzeitig wurden die Fotoszintigramme an den korrespondierenden Stellen markiert und dort zugleich densometriert, so daß der Zusammenhang zwischen Schwärzung und Impulsrate in Prozent in Form einer Eichkurve gewonnen werden konnte. Als definitive Eichkurve wurde der Mittelwert mehrerer solcher Eichmessungen bestimmt

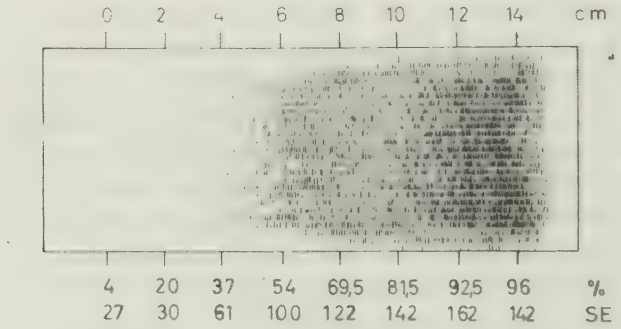


Abb. 4a) Strichszinigramm

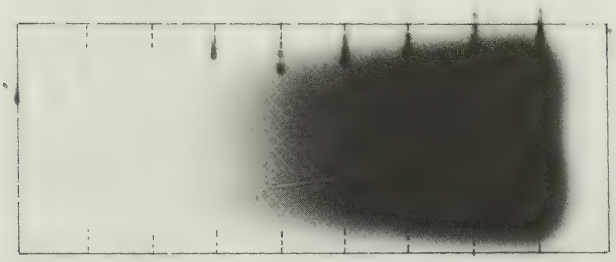


Abb. 4b) Photoszintigramm des mit Wasser gefüllten Keilphantoms, in das 100 Micro Ci Tc-99m gegeben wurden.

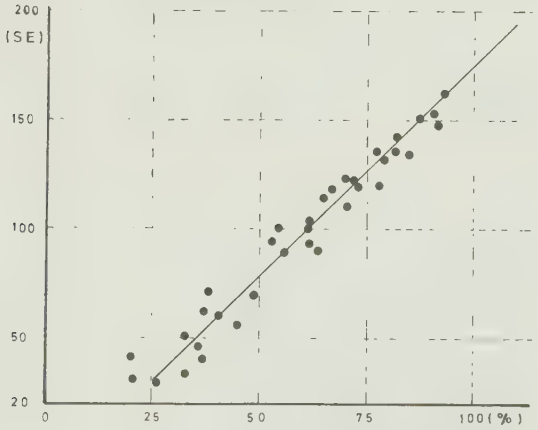


Abb. 5 Eichkurve als Mittelwert mehrerer Eichmessungen am Keilphantom

Tab. 2

% DER IMPULSE	25	30	35	40	45,5	50,5	56	61	66,5	71,5	77	82,5	87,5	93	97,5	103
SE	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180

2. Festlegung der Meßstellen und Vorgehen bei Ausführung
Die quantitative Auswertung der Photoscans erfordert die Festlegung definierter Meßbereiche, die bei allen Patienten möglichst gut reproduzierbar sein sollen.

Um eine bessere Übersicht zu erhalten, wurden alle Meßbereiche von oben nach unten alphabetisch benannt. Auf diese Weise ergaben sich im frontalen Bild insgesamt 19 mit Buchstaben benannte Bereiche von A bis T. Im lateralen Bild wurden nur 13 Meßstellen bestimmt, die ebenfalls alphabetisch, von Meßstelle A fortlaufend bis Meßstelle N, bezeichnet wurden.

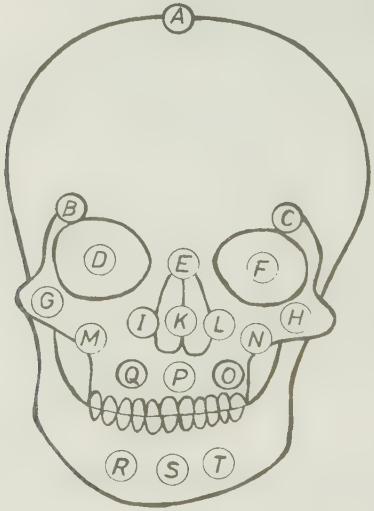


Abb. 6a) Meßbereiche im frontalen Szintigramm

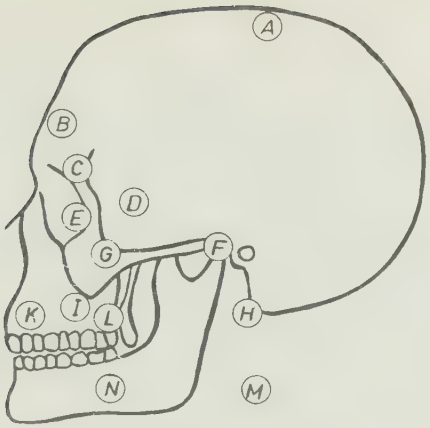


Abb. 6b) Meßbereich im lateralen Szintigramm mit jeweils fortlaufender alphabetischer Bezeichnung

In Abb. 6 sind die Meßstellen dargestellt, an denen densitometrische Meßungen vorgenommen worden sind. Die Verteilung erfolgte unter dem Gesichtspunkt, sie auf allen Photoscans möglichst gut reproduzierbar zu machen und außerdem so zu lokalisieren, daß sie insbesondere die Speicherung im Bereich der Nasennebenhöhlen gut erfassen.

Im Szintigramm in Vorderansicht ist in Bereich A die Schwärzung meßbar, die durch die Schädelkalotte verursacht wird, während in Bereich B und C die Schwärzungsdichte des oberen Orbitarandes und der Stirnhöhlen festgestellt wird. In der Mitte der im Zentrum beider Augenhöhlen liegenden Meßstellen D und F ist der Bereich E direkt über der Nasenwurzel gelegen. Die Bereiche G und H, die am weitesten lateral liegen, markieren jeweils die Lage der Jochbögen. Über den medialen Kieferhöhlenwänden, die identisch mit den seitlichen Knochenbegrenzungen der Nasenhaupthöhle sind,

befinden sich Bereich I und L, wohingegen die Meßregion K unmittelbar über dem Nasenseptum eingetragen ist. Die von den Kieferhöhlen verursachte Schwärzung ist an den Meßorten M und N bestimmbar. Durch die Bereiche O, P und Q wird der Ablauf des Alveolarfortsatzes des Oberkiefers, damit zusammenfallend der Boden der Nasenhaupt- und zum Teil der Nasennebenhöhlen, abgedeckt. Die durch die Mandibula entstandene Schwärzung kann in der Region R, S und T bestimmt werden.

Im lateralen Szintigramm erwies sich die einheitliche Festlegung der Meßstellen wegen der fehlenden Symmetrie etwas schwieriger, war jedoch unter Benutzung der mit dem Lichtvisier festgehaltenen Orientierungspunkte einwandfrei möglich. Der erste der 13 Meßorte, Bereich A, liegt am höchsten Punkt des Schädeldaches. Region B wurde über die Stirnhöhlen gelegt, während der darunter liegende Meßort C die obere Begrenzung der Orbita markiert. Die Meßstelle D liegt über dem Keilbeinkörper. Die übereinander projizierten Augenhöhlen und Jochbögen sind durch die Meßbereiche E und G hervorgehoben. Unmittelbar an der Markierung des äußerden Gehörgangs, die in jedes seitliche Szintigramm eingetragen wurde, befindet sich Meßort F. Die an dieser Stelle meßbare Schwärzung stammt im wesentlichen von den beiden Felsenbeinpyramiden. Mit dem Boden der Nasenhöhlen und mit dem Alveolarfortsatz fallen die Meßorte K und L zusammen. Direkt über beiden Kieferhöhlen befindet sich Meßstelle I. Unterhalb des äußeren Gehörganges über dem Processus mastoideus wird die Schwärzung in Beßbereich H gmessen. Bereich N ist, auf der Mandibula liegend, noch im Bereich des Kopfes, während an der Meßstelle M bereits die in der Wirbelsäule gespeicherte Aktivität bestimmt werden kann.

Nachdem die Meßbereiche festgelegt worden waren, wurde mit dem Densitometer ausgewertet.

Die durch das Densitometer erfaßte Fläche ist kreisförmig, hat einen Durchmesser von ca 2 mm und liegt jeweils im Zentrum der eingetragenen Markierungen.
Die dabei ermittelten Schwärzungen wurden auf einem Vorlagenblatt, wie in Abb. 6 abgebildet, das mit Hilfe einer Papierschablone vervielfältigt wurde, eingetragen. Aus den Schwärzungswerten wurde im nächsten Arbeitsgang mittels der Eichtabelle die Verteilung der Aktivität in Prozent abgeleitet und auf weiteren Formblättern festgehalten. Im folgenden Schritt wurde auf den frontalen Szintigrammen der Wert im Meßbereich E gleich 100 % gesetzt und die Aktivität der übrigen Meßstellen auf diesen Wert bezogen. Im lateralen Szintigramm wurde hingegen der Wert im Meßbereich F als Bezugspunkt festgelegt. Durch die Einführung eines Bezugspunktes wurde es möglich, auf diese Weise ausgewertete Aufnahmen miteinander vergleichen und Mittelwerte der Schwärzungsverteilung bestimmen zu können, weil äußere Faktoren, wie Appljkationsdosis, Untersuchungszeitpunkt, Knochenstoffwechseldynamik etc. keinen Einfluß auf die relative Aktivitätsverteilung haben. Um das normale Speicherungsmuster des Schädelskeletts quantitativ bestimmen zu können, wurde für jeden Meßbereich der Durchschnittswert mit Standardabweichung aus den 19 Normalszintigrammen abgeleitet.
Ferner wurde aus den Frontalbildern des Normalkollektivs der Quotient aus den Werten symmetrischer Bereiche, welche die Kieferhöhlen abdecken, ermittelt. Stets wurde dabei das Verhältnis der rechten zur linken Seite bestimmt. Aus den Quotienten wurde ebenfalls jeweils Mittelwert mit Standardabweichung ausgerechnet. Auf diese Weise wurde neben der Bestimmung der normalen quantitativen Aktivitätsverteilung die Grundlage für einen weiteren quantitativen Vergleich von Normalszintigrammen mit solchen von Sinusitispatienten geschaffen.

IV. Ergebnisse

A. Szintigraphie des gesunden Schädels

1. Frontale Projektion

Abb. 7 zeigt ein normales Schädelszintigramm als Strich- und als Photoszintigramm.

Abb. 7a) Strichszintigramm des gesunden Schädels mit Tc-99m-Sn-Pyrophosphat in frontaler Projektion.

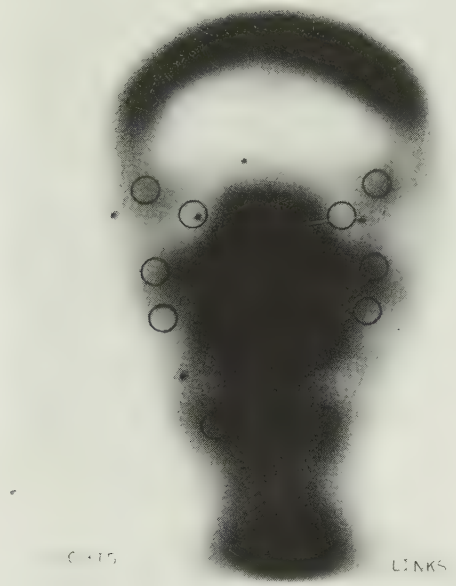


Abb. 7b) Photoszintigramm des gesunden Schädels
Bei nur rein qualitativer Begutachtung der 19 Normalszintigramme ist eindeutig ein im Zentrum des Schädels liegendes Aktivitätsmaximum feststellbar. Die Form ist einem schmalen gleichschenkeligen Trapez ähnlich und ist über der Nase gelegen. Das Anreicherungsfeld ferliert lateralwärts in Richtung Kieferhöhlen rasch an Intensität. Allgemein ist eine gut ausgeprägte Spiegelgleichheit des Kopfes, mit der Medianen als Symmetrieebene, kennzeichnend. Ein im Vergleich zum Maximum etwas geringerer Schwärzungsgrad ist über dem oberen Orbitarand registrierbar. Ferner ist die Mandibula

durch eine damit vergleichbare Mehrbelegung hervorgehoben, während die Darstellung des übrigen Schädelumrisses, insbesondere der des Gehirnschädels, enormen Intensitätsschwankungen unterworfen ist. Die unterhalb des Unterkiefers liegende Anreicherung ist auf die Knochenmasse der Wirbelsäule zurückzuführen.

Bereiche mit umschriebenen Speicherungsdefiziten finden sich über den von frontal erfassten Hirn,- Augen- und Mundhöhlen. Zusammenfassend ist die streng zentrale Lage des Aktivitätsmaximums und die Symmetrie des Schädels in der Frontalaufnahme hervorzuheben.

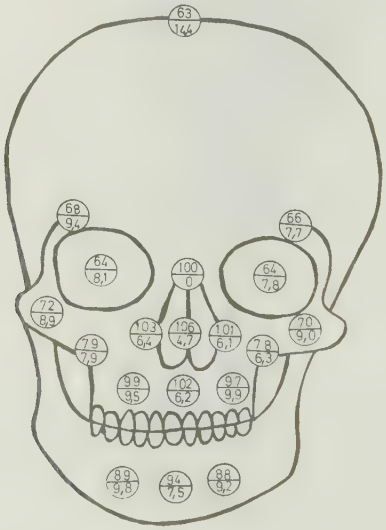


Abb. 8 Mittlere relative Aktivitätsverteilung im frontalen Szintigramm mit Angabe von Mittelwert und Standardabweichung bei Normalpersonen

Der Punkt mit der maximalen Durchschnittsschwärzung ist unmittelbar distal des Nasenbeins, also etwa auf dem Mittelteil des Nasenrückens projiziert, gelegen. Die Mittelwerte belegen quantitativ die bereits qualitativ festgestellte strenge Symmetrie und Konzentration der höchsten Speicherwerte auf den Nasenbereich mit einem steilen Abfall lateralwärts.

Die Standardabweichungen zeigen unterschiedliche, lageabhängige Schwankungen. Je weiter entfernt die Meßbereiche vom Maximum und damit vom Zentrum des Schädels liegen, desto stärker variieren die in ihnen ermittelten relativen Werte. So ist die Standardabweichung s=4,71% an der Stelle mit der durchschnittlich größten Speicherung im Meßort K wohingegen die in der Peripherie, wie z.B. am Scheitelpunkt des Schädels, ermittelte Standardabweichung s=14,4% ist.

Weiterhin wurden Normalwerte und Standardabweichungen durch Quotientenbildung für die jeweils zueinander symmetrisch liegenden Meßorte I und L, M und N sowie O und Q quantitativ ermittelt. Mit der Auswahl dieser Meßbereiche wurde eine weitere Möglichkeit geschaffen, pathologisch speichernde Kieferhöhlen, sofern es sich um einseitige Prozesse handelt, quantitativ nachzuweisen.

	Mittelwert	Standardabweichung
$X_I : Y_L$	1,01	2s-0,11
$S_M : Y_N$	1,02	2s=0,18
$S_O : Y_Q$	1,03	2s=0,14

$X_{I;\ M,O}$ = Wert im Meßbereich I, M, O

$Y_{L,N,Q}$ = Wert im Meßbereich L, N. Q

Tab. 3 Mittelwerte und Standardabweichungen der Quotienten, die aus 19 Normalszintigrammen gewonnen wurden.

Diese Werte zeigen wiederum die strenge Symmetrie zwischen linker und rechter Seite.

2. Seitliche Projektion

Abb. 9 zeigt ein normales seitliches Schädelszintigramm

Abb. 9a) Strichszintigramm des gesunden Schädels mit Tc-99m-Pyrophosphat in rechtslateraler Projektion

Abb. 9b) Photoszintigramm des gesunden Schädels

Beim lateralen Szintigramm liegt das Maximum in den meisten Fällen unmittelbar vor dem markierten äußeren Gehörgang. Die Lokalisation der höchsten Impulsrate ist im Gegensatz zu den frontalen Bildern nicht so leicht und eindeutig bestimmbar. Manchmal ist die Stelle mit der höchsten Nuklidspeicherung in der Ebene der Schädelbasis ventralwärts verschoben.
In der lateralen Projektion zeichnet sich besonders deutlich eine Abstufung der Schädelbasis ab, die mit der anatomischen Anordnung der in verschiedener Höhe gelegenen Schädelgruben zur Deckung kommt. Ober- und Unterkiefer setzen sich in dieser Projektion meist gut voneinander ab. Stellen mit der geringsten Anreicherung sind hier wie in der Vorderansicht durch Hirn- und Mundhöhle hervorgerufen, während sich die Orbitae wegen Oberlagerung ihrer seitlichen Knochenwände nicht von der Umgebung abheben.

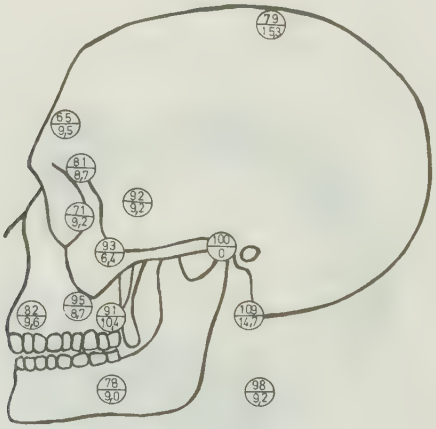


Abb. 10 Mittlere relative Aktivitätsverteilung im lateralen Szintigramm mit Angabe von Mittelwert und Standardabweichung bei Normalpersonen

Die durchschnittlich größte Radioaktivitätsspeicherung findet sich im Bereich H, welche über der vom jeweiligen Pneumatisationsgrad bestimmten Knochenmasse des Mastoids und der Halswirbelsäule gelegen ist. Die im Durchschnitt geringste Aktivität findet sich über den seitlich aufeinander projizierten Stirnhöhlen.

Im Vergleich zu den Bildern in frontaler Projektion ist im lateralen Szintigramm eine etwas breitere Streuung der Meßwerte erkennbar. Auffallend ist die relativ hohe Standardabweichung im Maximumbereich H, während im Gegensatz dazu in der frontalen Aufnahme der Ort mit der durchschnittlich größten Speicherung zugleich die geringste Abweichung aufweist. Eine Gesetzmäßigkeit in der Streuung der Standardabweichungen, die von der Lage zum Maximum abhängt ist, ist hier nicht ableitbar. Wie im Frontalszintigramm liegt auch hier im Scheitelpunkt des Schädels die größte Abweichung vom Mittelwert der Schwärzung.

B. Szintigraphie bei Sinusitis maxillaris

Die 46 frontalen und 46 seitlichen Photoszintigramme von Patienten, die klinisch und röntgenologisch Befunde einer Sinusitis maxillaris zeigten, wurden densitometrisch wie die Normalszintigramme ausgewertet.

Anreicherungen werden nur dann als pathologisch gewertet, wenn sie sich über der 2s-Grenze des Normalkollektivs befinden. Unterhalb der zweifachen Standardabweichung gelegene Speicherungen werden nicht gewertet, da es ausschließlich um pathologisch wertbare Anreicherungen geht. Die in den frontalen Aufnahmen bestimmten Seitenrelationen in Form von Quotienten gelten bereits als krankhaft, wenn sie außerhalb der doppelten Streubreite liegen.

Bei Patienten mit pathologischen Werten wurde die vom HNO-Ärzten festgehaltene Anamnese und Diagnose überprüft, um evt maligne Tumoren ausschließen zu können.

1. Frontale Projektion

Für die Fragestellung, wie sich das Anreicherungsverhalten von Sinusitiden im Vergleich zu gesunden Kieferhöhlen verhält, interessieren nur einige wenige Meßbereiche der in der Frontalebene erhaltenen Bilder. So werden die beidseits auf den medialen Kieferhöhlen liegenden Bezirke I und L, über den Kieferhöhlenboden und dem Recessus alveolaris lokalisierten Bereiche O und Q und die unmittelbar über dem Lumen gelegenen Meßorte M und N genauer betrachtet.

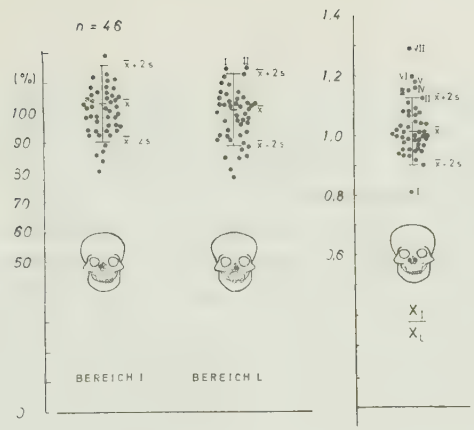


Abb. 11 Ergebnisse bei Sinusitis maxillaris im Verhältnis zu Mittelwert und Standardabweichung gesunder Kieferhöhlen

a) im Meßbereich I

b) im dazu symmetrischen Bereich L

c) bezüglich der Quotienten aus Werten der Bereiche I und L

Von den Meßwerten des Bereiches I liegt nur einer über der doppelten Streubreite, während es vom Bereich L zwei sind. Daraus läßt sich bereits schließen, daß die bei Sinusitiden in der medialen Kieferhöhlenwand gespeicherte Aktivität in der Regel nicht ausreicht, um eine Herdanreicherung, d.h. eine Anreicherung über der 2s-Grenze, zu verursachen. Der in Abb. 11a oberhalb der doppelten Standardabweichung gemessene Wert ist bei einem Patienten ermittelt worden, dem auch von Seiten der HNO-Klinik eine ausgeprägte Sinusitis maxillaris bescheinigt worden ist. Im Röntgenbild ist die rechte Kierferhöhle nahezu homogen verschattet, während links nur basal einige Verdichtungsstrukturen nachweisbar sind. Die pathologische Speicherung in Abb. 11b wurde von

einem Patienten erhalten, dessen linke Kieferhöhle unmittelbar vor der Szintigraphie aus therapeutischen Gründen punktiert und gespült wurde. Dabei konnten einige Eiterpfropfen entleert werden. Im zweiten Fall handelt es sich um einen Zustand nach einer Ausräumung der linken Kieferhöhle vor ca 10 Jahren. Bei der Antroskopie durch das offene Kieferhöhlenfenster ist aus dem hochentzündlichen Schleimhautgewebe eine Probeexzision entnommen worden, deren histologische Untersuchung eine ausgeprägte chronische, teilweise vernarbte Sinusitis ohne Zellatypien ergeben hat. Vier Tage vor der szintigraphischen Untersuchung ist eine Spülung der operierten Nebenhöhle vorgenommen worden. Bei diesem ansonsten szintigraphisch unauffälligen Fall ist im Röntgenbild neben einer Verschattung der linken Kieferhöhle eine dichte, diffuse Trübung der rechten Kieferhöhle sowie eine wandständige diffuse Verschattung der gleichseitigen Stirnhöhle erkennbar.

In Abb. 11c sind die quantitativen Beziehungen der Schwärzungen von Meßbereich I und L in Form von Quotienten dargestellt. In 7 Fällen liegen die Werte außerhalb des 2s-Bereiches. Der als Fall 1 bezeichnete Patient war vor 5 Jahren an der linken Kieferhöhle nach Caldwell-Luc operiert worden. Inzwischen ist durch eine Septumdeviation und Muschelhyperplasie eine Verlegung der Nasenatmung sowie Entzündung der voroperierten Nebenhöhle eingetreten. Fall 2 hatte seit 14 Tagen eitrigen Ausfluß aus der Nase mit zeitweise starken Kopfschmerzen. In einer Röntgenspezialaufnahme ist einen Tag vor der szintigraphischen Diagnostik eine Totalverschattung der rechten Kieferhöhle sowie eine durch wandständige Schleimhautpolster verursachte Teilverschattung der linken Kieferhöhle festgestellt worden. Nach der Szintigraphie sind in der linken Höhle Eiterpfropfen durch Spülung nachgewiesen und somit eine Kieferhöhleneiterung verifiziert worden.

Bei Fall 3 befand sich ein ca. einen Zentimeter großes Polster am Oberrand der rechten Kieferhöhle. Die klinischen Hinweise sprachen für einen nicht akuten, sondern bereits abgelaufenen entzündlichen Prozeß.
Fall 4 ist bereits in Abb. 11 a aufgrund einer pathologischen Speicherung abgehandelt. Es ist der einzige Patient, bei dem neben einem Quotienten, der außerhalb des Normbereichs liegt, eine pathologische Anreicherung an einem der entsprechenden Meßorte registriert wurde.
Fall 5 kam wegen Stirnkopfschmerzen und erschwerter Nasenatmung in poliklinische Behandlung. Röntgenologisch zeigte sich eine Teilverschattung der rechten Kieferhöhle durch eine diffuse Eintrübung mit einem zentralen Restlumen in der Gegend des Hiatus maxillaris, während die anderen Nasennebenhöhlen frei waren. Nach einer zweiwöchigen medikamentösen Behandlung waren die klinischen Symptome der Entzündung verschwunden und wieder eine normale Transparenz der Kieferhöhle vorhanden.
Ebenfalls die rechte Kieferhöhle war bei Fall 6 betroffen. Eine Woche vor der Szintigraphie ist sie punktiert und gespült worden, nachdem im Röntgenbild eine gleichmäßige Verdichtung der Nebenhöhle bei sonst unauffälligen Verhältnissen registriert worden war.
Der nächste Patient, Fall 7 zeigte neben einer vollkommenenen Verlegung der rechten Nasengänge durch Polypen eine gleichmäßige Verschattung der rechten Kieferhöhle. Die im Anschluß an die Szintigraphie durchgeführte histologische Untersuchung nach einer Radikaloperation der Kieferhöhle und beider Siebbeinzellsysteme ergab ein invertiertes Papillom, so daß in einer weiteren Sitzung sämtliche Nebenhöhlen ausgeräumt werden mußten.

Die unmittelbar über den Kieferhöhlen, oder genauer über der Spitze einer vierseitigen Pyramide mit der medialen Wand als Basis, gemessenen Werte in den Bereichen M und N sind in folgender Abbildung wiedergegeben.

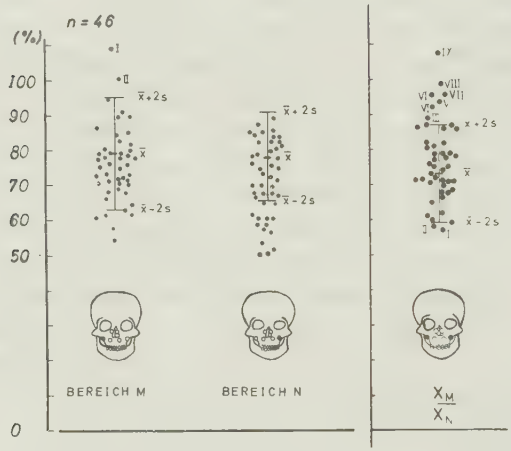


Abb. 12 Ergebnisse bei Sinusitis maxillaris im Verhältnis zu Mittelwert und Standardabweichung bei gesunden Kieferhöhlen

a) im Meßbereich M

b) im dazu symmetrischen Bereich N

d) bezüglich der Quotienten aus Werten der Bereiche M und N

Wie aus der Darstellung entnehmbar, zeigen nur Meßwerte der rechten Nebenhöhle Anreicherungen, die oberhalb der 2s-Grenze zu finden sind. Der als Fall 1 bezeichnete Patient hat als Vorgeschichte eine seit bereits einem Jahr bestehende

chronische Entzündung der rechten Kieferhöhle, die sich in letzter Zeit verschlimmerte. Nach dem röntgenologischen Befund ist die rechte Kieferhöhle diffus verschattet. Vor der szintigraphischen Aufnahme ist gespült worden, wobei eine große Menge an Eiter entleert wurde. Fall 2 ist bereits nach Abb. 11 a als ein Patient mit den klinischen und röntgenologischen Symptomen einer rechtsseitigen Kieferhöhlensinusitis beschrieben worden.

Das Verhältnis der in Bereich M zu den in Bereich N gemessenen Speicherungen ist in Abb. 12 c festgehalten. Auffallend ist dabei, daß aus dem Rahmen fallende Quotientenwerte fast ausschließlich oberhalb und nicht unterhalb der zweifachen Standardabweichung auftreten. Diese Tatsache könnte man damit erklären, daß Affektionen der rechten Kieferhöhle häufiger als auf der linken Seite vorkommen. Insgesamt liegen die Quotienten von 9 Patienten außerhalb des Normbereichs, d.h. 7 über- und 2 unterhalb der zweifachen Standardabweichung des Durchschnittwerts. Der als Fall 1 benannte Patient zeigte in der NNH-Spezialaufnahme auf der rechten Seite ein großes Polster, das den Recessus inferior ausfüllte und die restliche Kieferhöhle leicht eintrübte. Neben einer chronischen, einseitigen Sinusitis maxillaris wurde eine Septumdeviation nach links und eine beidseitige Muschelhyperplasie festgestellt. Der Proband war noch nicht vorbehandelt. Die Diagnose des zweiten Falles wurde bereits aufgrund eines auffallenden Wertes in Abb. 11 c als Fall 1 beschrieben. Beim nächstfolgenden Patienten entdeckte man im Rahmen einer Fokussuche wegen chronischer Urtikaria eine girlandenförmige Schleimhautschwellung in der rechten Kieferhöhle. Der rechte Sinus maxillaris des vierten Falles wurde eine Woche vor der szintigraphischen Un-

tersuchung aus therapeutischen Gründen gespült. Dieser Patient wurde bereits in Abb. 11 c als Fall 6 erwähnt. Im Röntgenbild des nächsten Patienten war auf der rechten Seite eine leichte Eintrübung festgestellt worden, während die übrigen Nebenhöhlen keine pathologischen Veränderungen aufwiesen. Außer einer Polypektomie vor etwa zehn Jahren wurden im Bereich der Nasennebenhöhlen bisher keine Eingriffe unternommen. Ein als pathologisch zu wertender Quotient wurde beim nächsten Patienten, bereits in Abb. 11 c registriert und seine Krankheitsgeschichte unter Fall 2 beschrieben. Fall 7 fiel durch pathologische Werte in Abb. 11 a, in Abb. 11 c als Fall 4 und in Abb. 12 a als Fall 2 auf. Der vorletzte Fall wurde wegen eines vor 14 Tagen erlittenen Autounfalls u.a. röntgenologisch untersucht. Neben einer rechtsseitigen homogenen Verschattung der Kieferhöhle, die mit der schon früher bekannten Sinusitis vereinbar war, wurde auf derselben Seite eine Blow-out-Fraktur sowie ein Bruch der lateralen Nasenwand gefunden. Der Letzte Fall mit einem außerhalb des Normbereiches liegenden Quotienten in Abb. 12 c wurde ebenfalls bereits in Abb 1 c an fünfter Stelle aufgeführt.
Die im nächsten Abschnitt dargestellten Schwärzungswerte sind in Meßstellen O und Q erhalten worden.

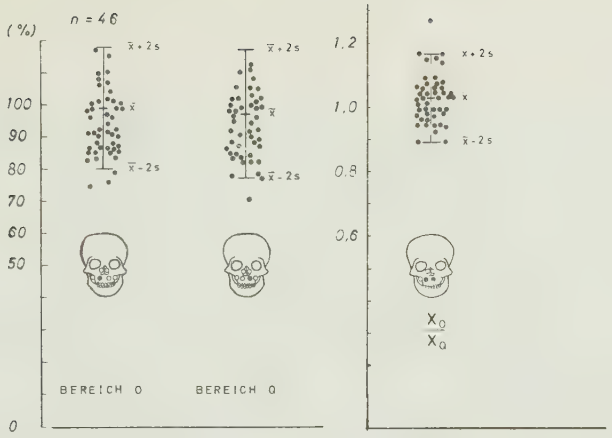


Abb. 13 Ergebnisse bei Sinusitis maxillaris im Verhältnis zu Mittelwert und Standardabweichung bei gesunden Kieferhöhlen

a) im Meßbereich O

b) im Meßbereich Q

c) bezüglich der Quotienten aus Werten der Bereiche O und Q

Im Gegensatz zu den vorhergehenden Quotientendarstellungen liegt hier nur ein Wert außerhalb der normalen Streubreite. Der Patient, ursprünglich wegen einer Stomatitis aphtosa in Behandlung, war an einer Pansinusitis mit ausgeprägtem, wandständigen Polsterbildungen in der rechten Kieferhöhle erkrankt. Die im Bereich O leicht vermehrte Anreicherung ist wahrscheinlich durch ein Granulom des oberen, rechten, ersten Mahlzahns, der vor 5 Monaten extrahiert wurde, hervorgerufen worden. In den Meßergebnissen der frontalen Szintigramme fällt nur ein Patient auf, wenn die Quotienten

unberücksichtigt bleiben, dessen pathologische Werte nicht unmittelbar in Zusammenhang mit einer operativen Manipulation oder einer andersartigen Kiefererkrankung stehen. Dier erhöhten Speicherwerte dieses Patienten sind in Abb. 11 a, in Abb. 11 c als Fall 4, in Abb. 12 a als Fall 2 und in Abb. 12 c als Fall 7 aufgefallen. Für die Abgrenzung entzündlicher Erkrankungen von Prozessen anderer Genese im Bereich der Kieferhöhlen, insbesondere Malignome, ergibt sich daraus folgende Konsequenz:
Alleinige Sinusitiden sind ohne überlagernde, herdbildende Affektionen unwahrscheinlich, wenn sie das 1,3fache des jeweiligen Mittelwertes übersteigen. Wurden Patienten mit unmittelbar vor der Szintigraphie durchgeführte Punktionen und Spülungen, mehrere Jahre zurückliegenden Radikaloperationen oder dentogene Anreicherungsherde mitberücksichtigt, so wurden keine Anreicherungen über dem 1,4fachen der entsprechenden Durchschnittswerte beobachtet. Die Quotienten aus Speicherwerten symmetrischer Meßbereiche weichen nach oben nie weiter als um 35% des Mittelwertes ab. Unterhalb der Durchschnittswerte streuen sie in einem Bereich, der nicht größer als 20% des Mittelwertes ist. Hierbei ist nicht differenziert worden zwischen Patienten ohne und mit ärztlichen Eingriffen oder Affektionen in unmittelbarer Nachbarschaft der Kieferhöhlen. Der Grund hierfür liegt in einem nicht unterscheidbaren Streubereich. Einen Überblick über das Speicherungsvermögen entzündeter Kieferhöhlen sollen folgende Darstellungen geben. Es werden nur Aufnahmen in der frontalen Ebene berücksichtigt.

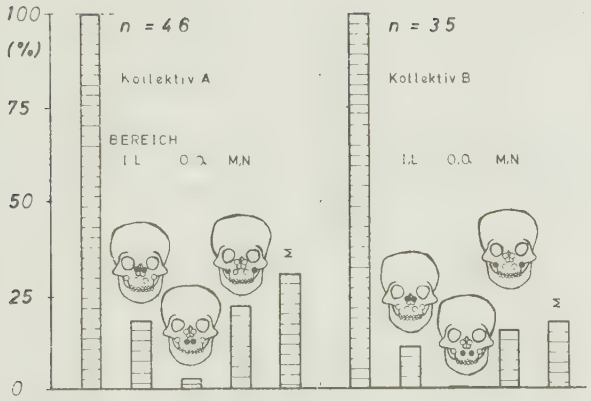


Abb . 14 a) Häufigkeit pathologischer Anreicherungen sowie Quotientenwerte bezogen auf jeweils zwei zueinander symmetrisch liegenden Meßbereichen im Frontalszintigramm

Kollektiv A: Gesamtheit der untersuchten Patienten mit Sinusitis maxillaris

Kollektiv B: Patienten des Kollektivs A, deren Kieferhöhlen weder unmittelbar vor der Szintigraphie gespült noch jemals operiert worden sind

Σ : Summe aller Untersuchten mit mindestens einer pathologischen Speicherung oder einem pathologischen Quotientenwert

Im Sinne einer pathologischen Veränderung sind in Abb. 14 a, im Gegensatz zu Abb. 14 b, nicht nur Speicherwerte über der zweifachen Standardabweichung, sondern auch Quotienten außerhalb des Normbereichs gewertet worden.

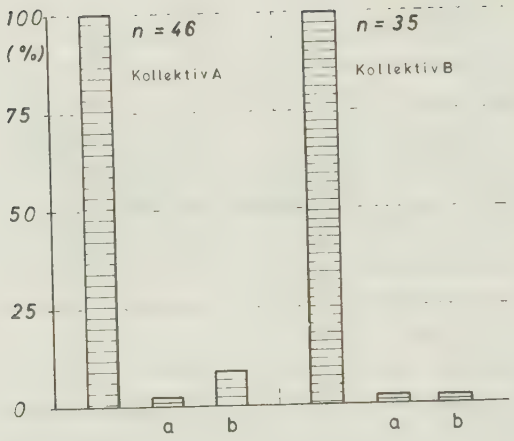


Abb. 14 b) Häufigkeit pathologischer Speicherungen in den Meßbereichen des Frontalszintigramms

a = Anteil der Patienten mit pathologischen Anreicherungen an mindesten zwei Meßorten

b = Anteil der Patienten mit pathologischen Anreicherungen in einer oder mehreren Meßstellen

Von den insgesamt 46 frontal szintigraphierten Patienten bei denen zunächst aufgrund klinischer und röntgenologischer Befunde eine Entzündung der Kieferhöhlen angenommen wurde, konnten nachträglich bei rund drei Viertel vorausgegangene Eingriffe oder überlagerungsfähige Kieferentzündungen, die Anreicherungen aufgrund einer Sinusitis vortäuschen könnten, ausgeschlossen werden. Diese Gruppe von Untersuchten ist im Kollektiv B zusammengefaßt.

Aus den Abbildungen ist ersichtlich, daß etwa 30% des Patientenguts durch abnorme Speicherungen in midestens einem der densitometrischen Meßbereiche und/oder durch aus jeweils zwei zueinander symmetrischen Meßstellen gewonnenen Quotienten aufgefallen sind. Im Kollektiv B sind es dagegen nur knapp 20%, deren Speicherungsmuster nicht mehr der Norm entspricht. Wie aus Abb. 14 a weiter hervorgeht, sind an den Meßstellen O und Q mit großem Abstand am seltensten, sowohl in Kollektiv A als auch in Kollektiv B, pathologische Veränderungen festzustellen.

In Abb. 14 b ist die Häufigkeit pathologischer Speicherungen, d.h. Anreicherungen überhalb der zweifachen Standardabweichung dargestellt worden. In Kollektiv A reichert ein Patient in zwei Meßbereichen gleichzeitig pathologisch an, während allgemein vier Untersuchte abnorme Speicherungen zeigen.
Besondere Beachtung verdient hier Kollektiv B, von dessen 35 Patienten nur einer Herdbildungen, und zwar in den Bereichen I und M, aufweist.

2. Seitliche Projektion

Um speichernde Herde entzündeter Kieferhöhlen in der seitlichen Ansicht zu erfassen, sind densometrische Messungen in zwei ausgewählten Meßbereichen durchgeführt worden. Dazu geeignet waren Bereich I, der sich auf die beiden Kieferhöhlen projiziert, und der in Höhe des Nebenhöhlenbodens und des Alveolarfortsatzes gelegene Meßort K.

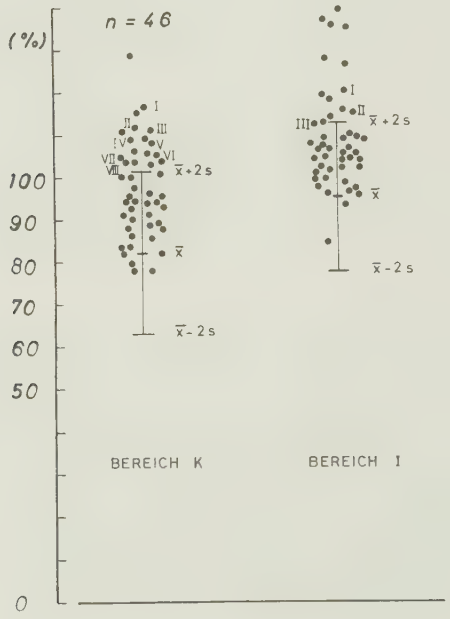


Abb. 15 Anreicherungen bei Patienten mit Sinusitis max. im Verhältnis zu Mittelwert und Standardabweichung

Abb. 15 a) im Bereich K

b) im Bereich I

Von den im ganzen 46 seitlichen Szintigrammen weisen im Meßbereich I 13, im Bereich K 17 eine pathologisch erhöhte Speicherung auf.

Im folgenden werden die Krankengeschichten derjenigen kurz gestreift, die in frontalen Bild unauffällig waren, bei denen aber im seitlichen Bild Herdanreicherungen im Gebiet der Kieferhöhlen auftraten.
Im Meßbereich K ist bei Fall 1 eine total verschattete linke Kieferhöhle zu sehen, während die rechte Kieferhöhle sowie die Stirnhöhlen frei sind. Beim nächsten Fall ist ebenfalls eine einseitige, diffuse Verschattung mit rahmenartiger Verdichtungsstruktur dargestellt worden, und zwar rechts, während die übrigen Nebenhöhlen unauffällig waren. Bei Fall 3 manifestiert sich die Entzündung der rechten Kieferhöhle röntgenologisch in Form eines Polsters, das den Recessus inferior ausfüllt und die restlichen Höhlen leicht eintrübt. Ätiologisch ist die deutlich sichtbare Septumdeviation in Betracht zu ziehen. Der Patient unterzog sich einer Radikaloperation der entzündeten Nebenhöhle. Ein fast identisches Röntgenbild kennzeichnet den als Fall 4 beschriebenen Patienten. Seit drei Jahren leidet er zusätzlich an einer durch die Sinusitis verursachten Heiserkeit. Der nächste Patient klagt über verstopfte Nase sowie über Hyposmie. Anamnestisch ist es ein Zustand nach rezidivierenden Sinusitiden. Zur Zeit ist eine Kieferhöhle verschleiert. Bis auf ein kleines Restlumen sind die Sinus maxillaris bei Fall 6 durch dichte Wandpolster eingeengt. Klinisch ist es das Bild einer bereits acht Jahre dauernden chronischen Sinusitis maxillaris. Eine ausgeprägte Verschattung der rechten Kieferhöhle mit nur einem

kleinen Lumen um den Hiatus maxillaris weist der nächste Untersuchte auf, während sich die übrigen Sinus unauffällig darstellten. Die akuten Beschwerden haben sich retrospektiv nach antibiotischer Behandlung zurückgebildet. Auf derselben Seite ist bei Fall 8 eine girlandenförmige Umrahmung im Sinne einer Schleimhautschwellung zu sehen. Der Recessus stellt sich basal verdichtet dar. Ebenfalls eine Rahmenbildung und eine basale Verdichtungsfigur ist auf der anderen Seite angedeutet.

Im Meßbereich I speichern drei Patienten pathologisch, die bisher weder im frontalen noch seitlichen Szintigramm einen auffallenden Befund zeigten. Die Entzündung beschränkt sich bei Fall 1 auf beide Kieferhöhlen, die diffus transparenzgemindert sind. Seit zwei Jahren leidet er an einem Fremdkörpergefühl und Schluckbeschwerden, die ihn jetzt zum Arztbesuch veranlassten. Auch beim nächsten Patienten sind beide Kieferhöhlen bis auf eine zentrale Aufhellung homogen verschattet. Röntgenologisch ist bei Fall 3 ebenfalls beidseitig eine Eintrübung festgestellt worden. Eine chronische Polyposis der Nasenschleimhaut ist zudem histologisch gesichert.

Zur Differenzierung pathologischer Anreicherungen infolge einer Sinusitis maxillaris von Herdspeicherungen anderer Ätiologie im Bereich der Kieferhöhlen kann folgender Schluß gezogen werden: Am Meßort K sind nach den Erfahrungen dieser Untersuchung Schwankungen bis zum 1,6fachen des Durchschnittswertes möglich. Im zentral über den Kieferhöhlen gelegenen Meßbereich beschränkt sich die Streubreite auf das 1,5fache des Mittelwertes. Ein Unterschied in der Abweichung vom Durchschnittswert ist bei den Probanden ohne und mit operativen Eingriff an den Kieferhöhlen erkennbar.

Einen Überblick über die Häufigkeit von Anreicherungen über der doppelten Standardabweichung in seitlich aufgenommenen Szintigrammen soll folgende Darstellung verschaffen:

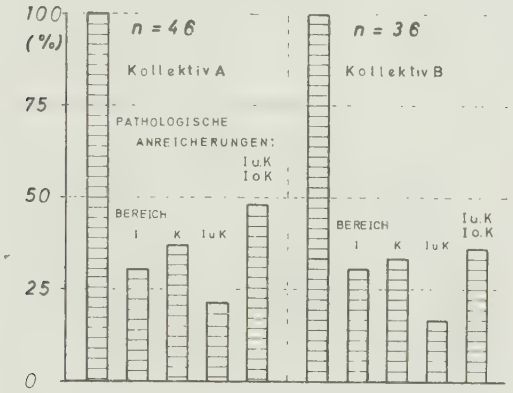


Abb. 16 Häufigkeit pathologischer Anreicherungen im seitlichen Szintigramm

Kollektiv A: Gesamtheit der untersuchten Patienten mit Sinusitis maxillaris

Kollektiv B: Patienten des Kollektivs A, deren Kieferhöhlen weder unmittelbar vor der Szintigraphie gespült noch jemals operiert worden sind

Von den insgesamt 46 seitlich szintigraphierten Patienten stellte sich bei zehn von Ihnen nachträglich heraus, daß ihr gegenwärtiges Leiden bereits einmal operativ angegangen worden ist.
Deswegen ist auch hier wie in Abb. 14 das Patientengut in zwei Gruppen geteilt worden. In der ersten sind alle Untersuchten berücksichtigt, während in der zweiten nur diejenigen Probanden zusammengefaßt sind, die sicher noch keine herdbildenden Eingriffe an den Kieferhöhlen, wie Punktionen oder Radikaloperationen, hinter sich haben. Von Kollektiv A speichern im Bereich I 30%, im benachbarten Bezirk K an die 40% über der Norm. An beiden Meßstellen gleichzeitig ist bei rund 20% der Untersuchten eine pathologisch vermehrte Anreicherung zu sehen. Zusammengefaßt besteht in der Seitenlage bei der Hälfte aller Sinusitiden in mindestens einem der ausgewählten Meßbereiche eine pathologische Speicherund. Im Kollektiv ohne Eingriffe an den Kieferköhlen weisen etwa 30% im Bereich I, im Bereich K ca 35% der Patienten ein positives Szintigramm auf. Bei 15% sind in beiden Bezirken zugleich Herdanreicherungen nachweisbar. Abschließend ist festzustellen, daß bei diesem, aus 36 Patienten bestehenden Kollektiv etwa 40% eine pathologisch wertbare Anreicherung in mindestens einem der densitometrisch ausgewerteten Bereiche erkennen lassen.

3. Beide Projektionen

Wie bereits erwähnt, sind im ganzen 46 frontale und 46 seitliche Bilder angefertigt worden. Davon sind 44 Bilder in frontaler und 44 in seitlicher Projektion von denselben Probanden erhalten worden. Wie häufig Sinusitiden abnorm speichern, wenn der Schädel in zwei Ebenen szintigraphiert wird, soll folgende Darstellung wiedergeben:

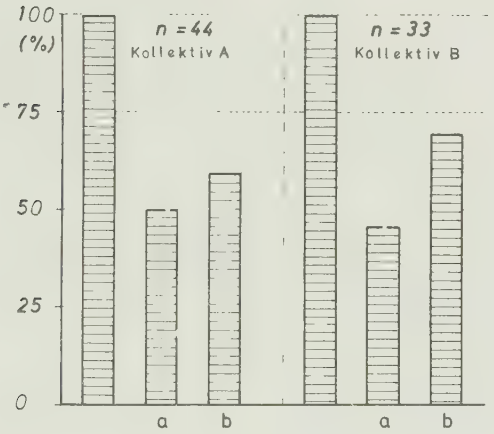


Abb. 17 Häufigkeit pathologischer Anreicherungen in den Kieferhöhlen während einer Sinusitis maxillaris bei Szintigraphie in der frontalen und in einer seitlichen Ebene

Kollektiv A: Gesamtheit der szintigraphierten Patienten mit einer Sinusitis maxillaris,

von denen jeweils gleichzeitg ein frontales und seitliches Szintigramm vorlag

Kollektiv B: Patienten des Kollektivs A, deren Kieferhöhlen weder unmittelbar vor der Szintigraphie gespült noch jemals operiert worden sind

a) ohne Berücksichtigung
b) mit Berücksichtigung der Quotientenbestimmungen in den frontalen Szintigrammen

Es zeigt sich, daß die Patientengruppe, in der operativ Vorbehandelte mit einbezogen sind, zu 50% pathologisch anreichern, sofern die ermittelten Quotienten symmetrischer Werte außer acht gelassen werden. Wird bei der Beurteilung der Szintigramme insgesamt 60% des Kollektivs pathologisch. In der zweiten Gruppe, eine Selektion von Probanden, stellt sich bei etwa 45% ein Anreicherungsherd dar.
Unter Einbezug der Quotientenabteilung sind bei rund 70% über bzw. außerhalb des Normbereichs liegende Parameter erhalten worden.

V. Diskussion

A. Methode

Die eingangs aufgeworfenen Fragen nach der Definition einer pathologischen Anreicherung sowie dem Speicherungsvermögen entzündeter Kieferhöhlen sind mit Hilfe densitometrischer Messungen zu beantworten versucht worden. Im Folgenden werden Methodik und Ergebnis der Untersuchung kritisch betrachtet.

1. Zuverlässigkeit der Methode

Fehlerquellen: Das Hauptproblem liegt sicherlich darin, daß es nicht möglich ist, die über dem Bild verstreuten Meßbereiche einheitlich auf jeder Aufnahme zu lokalisieren. Die durch kontinuierliche Schwärzung des Photoszintigramms bedingte Verwachsung erschwert trotz der Markierung definierter Körperstellen eine exakte Ortsbestimmung der Meßbereiche. Insbesondere in seitlichen Aufnahmen ist es schwierig, die Meßbereiche genau an denselben Stellen einzutragen, da es nicht möglich ist, sich an gegenüberliegenden, symmetrischen Bezirken zu orientieren. Dadurch werden die densitometrischen Untersuchungen in der frontalen Projektion zuverlässigere Ergebnisse als in der seitlichen bringen. Oberdies kann sich diese Fehlerquote auf das Endresultat in einem schlecht kontrollierbaren Ausmaß auswirken. Wichtig ist deshalb eine sorgfältige Ausführung der Arbeit.

Vorteile: Im Vergleich zur herkömmlichen Gewinnung szintigraphischer Information, nämlich durch bloßes Betrachten des Farbscans, ist die angewandte Methode wesentlich zuverlässiger. Trotz des relativ großen Auflösungsvermögens der Farbszintigramme, d.h. der Aufteilung des Aktivitätsmusters in unterschiedliche Strichdichten und farblich abgestuften Speicherungsdifferenzen, bleibt es in vielen Fällen zweifelhaft, ob es sich um eine außerhalb der Norm liegende Aktivitätskonzentration handelt. Dagegen läßt die gut definierbare Grenze der doppelten Standardabweichung normale von pathologischen Aktivitätsschwankungen leicht trennen. Es wäre sicherlich sehr aufwendig und praktisch nicht durchführbar, die Strichdichte des Farbszintigramms für die einzelnen Schädelpartien getrennt auszuzählen und dann mit den kontrolateralen Stellen in Vergleich zu setzen. Sicher ist die Auswertung mit Hilfe der Densitometrie auch dann zuverlässig, wenn es darum geht, den Verlauf einer Malignomerkrankung des Schädelknochens während einer medikamentösen oder strahlentherapeutischen Therapie zu kontrollieren. Da die Auswertungsergebnisse von der Subjektivität der Szintigrammeinstellung, von Dosisdifferenzen sowie verschiedenen Untersuchungszeitpunkten nach Injektionen der Aktivität weitgehend unabhängig sind, ist es möglich, Änderungen der Knochenstoffwechselaktivität des zu kontrollierenden Herdes früher und genauer zu erkennen. Dies ist insofern von Bedeutung, als szintigraphische Aufnahmen in der Routindediagnostik nie exakt unter gleichen äußeren Bedingungen gemacht werden können. Durch Anwendung dieses Verfahrens gewinnt die nuklearmedizinische Verlaufskontrolle maligner Knochentumoren im Kopfbereich an Effektivität (26).
Nicht nur bei Kontrolluntersuchungen sondern auch bei der Erstdiagnose würde die Methode von Vorteil sein.
In Fällen, bei denen die Ursache einer abnormen Speicherung in den Bezugspunkt, d.h. in das Maximum des normalen Aktivitätsmusters fällt, ist der Krankheitsherd nicht mehr

so leicht übersehbar. Bei fraglichen Befunden kann auch die seitliche Aufnahme nicht immer weiterhelfen, da das Anreicherungsmaximum nicht immer klar erkennbar ist und zudem seine Lage nicht konstant ist. In diesem Fall würden alle densitometrisch ermittelten Werte im Vergleich zum Bezugswert zu klein ausfallen, was ein Hinweis auf einen Herd im Maximum wäre. Zuletzt bleibt hervorzuheben, daß diese Methode einfacher ist als die Abzählung der Striche im Strichszintigramm, was vom Prinzip her für den quantitativen Seitenvergleich auch möglich wäre.

2. Praktikabilität der Methode

Was die Praktikabilität anbelangt, die als das Verhältnis von Kosten und Verfügbarkeit definiert werden kann, so sind mehrere Faktoren zu bedenken. In erster Linie stellt sich die Frage, ob es in der Routinediagnostik in Klinik und Praxis sinnvoll wäre, nach dem angewandten Verfahren zu arbeiten. In der Oberlegung muß berücksichtigt werden, daß für die Entwicklung der Photoszintigramme das Vorhandensein eines Photolabors vorausgesetzt werden muß. Zusätzlich muß ein Densitometer zur Verfügung stehen. Neben diesen apparativen Erfordernissen ist auch der Aufwand an Röntgenfilmen zu berücksichtigen. Was am meisten ins Gewicht fällt, ist der entstehende Arbeitsauswand, der sich aus der Entwicklung der Filme, aus densitometrischen Messungen und Umrechnungen in Prozente anhand einer Eichkurve zusammensetzt.

Auf große Schwierigkeiten stößt in der Nuklearmedizin immer wieder die Beantwortung der Frage: wie läßt sich eine Herdspeicherung oder eine pathologische Anreicherung genau definieren ? Versuche, darauf eine Antwort zu finden, haben nicht zuletzt den Anstoß für die Entwicklung der quantitativen Ganzkörper-Skelettszintigraphie gegeben. Die hier angewandte Methode erlaubt mit einfachen Mitteln, ohne Computer, Herdspeicherungen von Varianten des normalen Aktivitätsmusters abzugrenzen. Die allgemein verwendete Bezeichnung Herd im Sinne einer lokalen, auffällig erhöhten Anreicherung ist durch die Bestimmung der normalen Schwärzung und ihrer Streubreite präzisiert worden. Sie ist somit von der subjektiven Interpretation unabhängig. In Anbetracht der erwähnten Möglichkeiten ist die Praktikabilität vorstellbar und sicherlich gegeben, wenn die not-

wendigen Apparate bereits verfügbar sind.

B. Ergebnis

1. Ergebnis der quantitativen Schädelszintigraphie bei gesunden Kieferhöhlen.

Das frontale Normalszintigramm des Schädels ist entsprechend der anatomischen Form der speichernden Knochen konfiguriert (siehe Abb. 7). Die von der Masse des unter dem Detektor befindlichen Knochens abhängige Aktivitätskonzentration ist entsprechend ihrer Verteilung durch farbige Strichmarken dargestellt. Ebenso wie das von Heenemann (31) gewonnene Normalszintigramm mit ^{87m}Sr zeigt auch das mit 99 m Tc-Sn-Pyrophosphat erstellte Schädelszintigramm ein im Zentrum gelegenes Aktivitätsmaximum. Die hohe Impulsrate geht anscheinend vom Keilbeinkörper aus, auf dem sich zusätzlich der knochenstarke basale Teil des Os occipitale projiziert. Die Annahme, daß die starke Durchblutung des Gesichtsschädels von entscheidender Bedeutung ist, wird durch die seitliche Aufnahme widergelegt, in der keine Aktivitätskonzentration im Gesichtsbereich feststellbar ist:

Die Bilder in seitlicher Projektion mit ^{87m}Sr und ^{99m} Tc-Pyrophosphat sind sich ebenfalls in einem hohen Grade ähnlich. Die durschnittlich höchste Impulsrate beider Tracersubstanzen wird über dem Schläfenbein, etwa in der Höhe des Processus mastoideus, registriert, wobei natürlich auch die gespeicherte Aktivität der proximalen Halswirbel miterfaßt wird.

Das mit ^{99m}Tc-Sn-Pyrophosphat erhaltene seitliche Szintigramm weist in seinem unterhalb des Bezugspunktes gelegenen Maximum die größte Standardabweichung des Gesamtbildes auf, womit die bereits erwähnte variable Lage des Aktivitätsgipfels dokumentiert wird. Auffallend sind weiterhin die im Vergleich zum frontalen Bild allgemein größeren Standardabweichungen. Diese Tatsache ist wohl im wesentlichen durch zwei Faktoren bedingt:

1. Die paarigen, symmetrischen Nebenhöhlen und Knochen des Gesichtsschädels werden in der Seitenaufnahme aufeinander projiziert, so daß sich die indivivuellen, von unterschiedlich stark ausgeprägtem Skelett abhängigen Impulsarten addieren und damit auch die entsprechenden Standardabweichungen.
2. Eine genaue horizontale Lagerung und Fixierung des Kopfes bei seitlichen Aufnahmen ist schwerer durchführbar als die einheitliche Lagerung während frontaler Aufnahmen. Dadurch entstehen größere Schwankungen der Impulsraten, was durch die Zunahme der Standardabweichungen zum Ausdruck kommt.

Anhand der Kenntnis der relativ-quantitativen Aktivitätsverteilung normaler Schädelaufnahmen ist es möglich geworden, durch Sinusitiden verursachte Herdspeicherungen mit densitometrischer Auswertung exakter als mit bloßen Auge zu erfassen. Neben der Bestimmung von Mittelwerten kann man durch die Ermittlung von Quotienten aus Werten symmetrischer Bezirke ein weiteres quantitatives Kriterium der Anreicherungen erhalten. Diese Bestimmung hat nur dann Sinn, wenn ein einseitiger Prozeß vorliegt. Der Quotient kann außerhalb des Normbereiches liegen und damit einen pathologischen

Zustand anzeigen, auch wenn keine Anreicherungen über der Norm feststellbar sind. Es muß betont werden, daß immer primär prozentuale Schwärzungswerte in Relation zum Bezugspunkt bestimmt werden müssen, um beidseitige pathologische Speicherungen zu erfassen. Quotientenbestimmungen sind also nur zusätzlich geeignet, die Methode zu verfeinern.

2. Ergebnis der quantitativen Schädelszintigraphie

Das frontale Schädelszintigramm von Patienten mit Sinusitis maxillaris zeigt bei quantitativer Auswertung des Aktivitätsmusters ohne Quotientenbestimmung nur bei einem von 35 Untersuchten pathologische Anreicherungen, wenn die Nasenwurzel als Bezugspunkt genommen wurde. Allerdings sind diejenigen Probanden nicht berücksichtigt, bei denen ein Zusammenhang zwischen Kieferhöhlenspülung und Radikaloperation einerseits und szintigraphischer Herdbildung andererseits nicht auszuschließen ist. Sinusitiden rufen also nur selten so hohe Aktivitätsanreicherungen hervor, wie sie z.B. bei den knochendestruktiven Carcinomen des Oberkiefers in der Regel beobachtet werden. Der Aussagewert der Untersuchung wird eingeschränkt durch die Tatsache, daß sich die szintigraphierten Probanden in recht verschiedenen Stadien ihrer Erkrankung an Sinusitis befanden, was auch röntgenologisch deutlich sichtbar war. Zudem waren die röntgenologisch erkennbaren Veränderungen der Nebenhöhlenschleimhaut bei jedem Patienten anders ausgeprägt.

Die Quotientenbestimmungen aus Werten symmetrischer Bereiche über den Kieferhöhlen ergeben nach den Abbildungen 11, 12, und 13 etwa viermal häufiger einen positiven Befund als die einfache prozentuale Ermittlung der Schwärzung in Bezug zur Nasenwurzel, wenn man, wie in Abb. 14 b ersichtlich, die Tatsache berücksichtigt, daß insgesamt nur ein Patient zwei pathologische Speicherungen gleichzeitig aufweist. Der Einwand, Quotienten seien deshalb

nicht aussagekräftig, weil alleine einseitige Aktivitätsminderungen pathologische verursachten könnten, ist deshalb nicht stichhaltig, da ja einer Bewertung die Streuung der Quotientenwerte bei Gesunden zugrunde liegt. So ist z.B. die Möglichkeit denkbar, daß auf der einen Seite ein oberer Grenzwert mit einem unteren Grenzwert der anderen Seite einen Quotienten bilden, der weit außerhalb der Norm liegen würde.Sie tritt aber nach den statistischen Messungen an gesunden Probanden sehr selten auf. Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß Seitenvergleiche in Form von Quotienten eine wertvolle Ergänzung dahingehend darstellen, als sie bei noch innerhalb der Norm liegenden Anreicherungen im Vergleich zu einem Bezugspunkt bereits eine pathologische Veränderung anzeigen können.

In der seitlichen Projektion sind die Schwärzungen der Bereiche I und K in ihrem Verhältnis zu Mittelwert und zweifacher Standardabweichung dargestellt worden. Im Kollektiv A treten im Bereich I bei 30%, im Meßbereich K bei rund 35% der Patienten eine pathologische Speicherung auf. Ähnliche Resultate sind bei dem zahlenmäßig kleineren Kollektiv B erzielt worden. Im ganzen sind etwa bei der Hälfte des Gesamtkollektivs (A) und bei 35% des Kollektivs B positive Szintigramme, d.h. mit mindestens einer pathologischen Anreicherung, festgestellt worden. Die erhaltene Streuung im Bereich I mit dem Faktor 1,5 bzw. 1,6 im Meßbereich K, ist deutlich ausgeprägter als im frontalen Szintigramm, wo sie mit dem Faktor 1,4 im Kollektiv A sowie im Kollektiv B mit dem Faktor 1,3 beschrieben wurde.

In diesem Zusammenhang scheint auch erwähnenswert, daß von den 20 Patienten mit pathologischen Anreicherungen im seitlichen Szintigramm zehn gleichzeitig in den beiden Oberkiefer-Bezirken I und K abnorme Speicherungen aufweisen. Die Ursache hierfür könnte in der größeren Ausdehnung der entzündlichen Herde bei seitlicher Sicht liegen. Die Tatsache, daß die seitlichen um ein Mehrfaches häufiger als

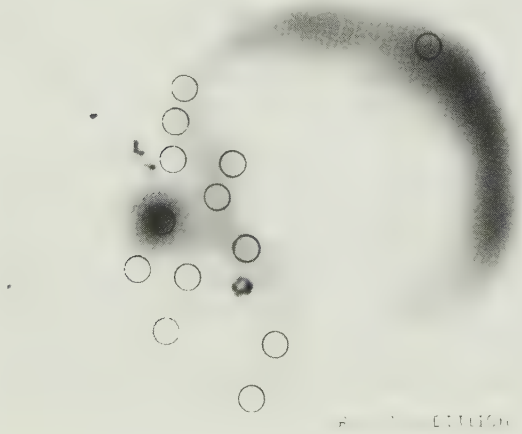
die frontalen Bilder pathologischer Anreicherungen aufweisen, ist wohl am ehesten durch die oft beidseitige Sinusitis unterschiedlicher Ausprägung erklärbar, deren Aktivitäten sich addieren. Dadurch wird verständlich, daß nicht zuletzt wegen dieser Aufeinanderlagerung der Nebenhöhlen, die seitliche Aufnahme weniger als die frontale geeignet ist, szintigraphisch die Intensität eines Herdes im Oberkiefer zu erfassen. Die Schwierigkeiten zu einer exakten Seitenlagerung des Patienten tragen ebenfalls dazu bei.

Von 44 erfassten Patienten lagen zugleich das frontale und ein seitliches Szintigramm vor. Im Kollektiv A sind 60%, im Kollektiv B rund 70% entweder durch eine pathologische Anreicherung oder durch einen Quotienten aus dem Frontalbild aufgefallen. Die Frage, ob es sinnvoll sei, ein seitliches Szintigramm anzufertigen, wenn das frontale unauffällig ist, läßt sich nicht uneingeschränkt bejahen, da die bereits erwähnten Fehlerquellen bei Seitenaufnahmen falschpositive Befunde verursachen können.

Auf die Möglichkeit, maligne Erkrankungen und bloßen Entzündungen im Nebenhöhlenbereich mit Hilfe szintigraphischer Untersuchung zu differenzieren, wurde bereits in früheren Arbeiten von Frey, Heenemann, Neef und Münzel (25, 31, 40, 39) hingewiesen. Um die Abgrenzung gesunder oder entzündeter Kieferhöhlen von malignen Prozessen zu demonstrieren, sei hier ein Fall mit einem Oberkiefercarcinom beschrieben. Es handelt sich um eine 61-jährige Frau, die mit einem schlechten Allgemeinbefinden in die Behandlung kam. Rechts bestand eine periorbitale Schwellung.

Auf der gleichen Seite gab sie Schmerzen im Bereich der Kieferhöhlen an, die sich beim Schluckakt angeblich verstärkten. Im Vestibulum oris mündete eine Fistel, die von der rechten Kieferhöhle ausging. Röntgenologisch stellte sich eine massive Verschattung der rechten Kieferhöhle und der Siebbeinzellen dar. Tomographisch wurde eine Infiltration des Orbitabodens und eine Destruktion der hinteren Kieferhöhlenwand mit einer Invasion in die Fossa pterygopalatina entdeckt. Nach cranial zu war der vordere Anteil der Schädelbasis zerstört. Ein Einbruch des Tumors in die rechte Orbita gab offensichtlich eine Erklärung der Gesichtsschwellung. Aufgrund der fortgeschrittenen Ausdehnung und Fernmetastasierung in die Femurköpfe sowie in die Kalotte und regionären Lymphknoten war das Malignom inoperabel.
Vor Beginn der Strahlentherapie sind folgende Szintigramme angefertigt worden:

Abb. 18 Photoszintigramm einer Patientin mit einem ausgedehnten Oberkiefercarcinom
a) in der Vorderansicht
b) in der Seitenansicht



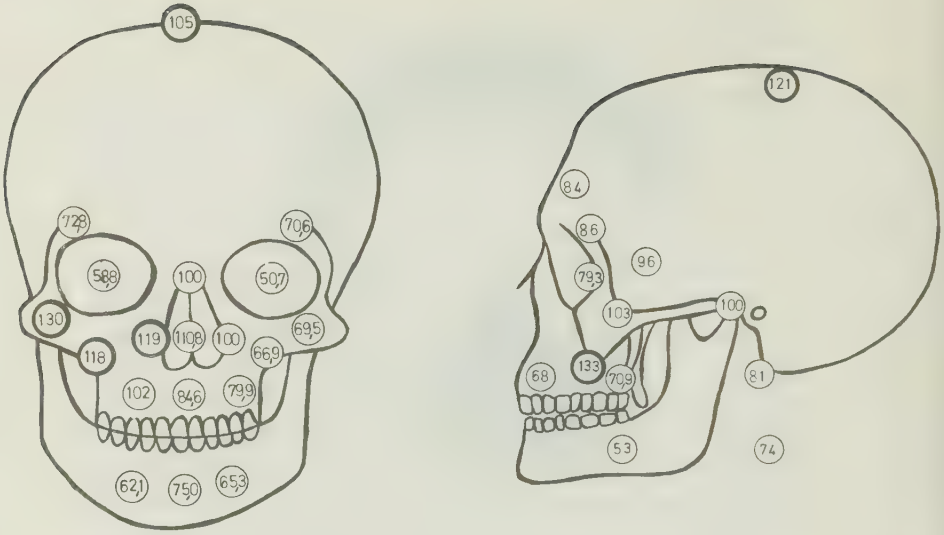


Abb. 19 Densometrische Auswertung der Szintigramme derselben Patientin

a) in frontaler
b) in seitlicher Projektion.

In der Frontalaufnahme liegen vier ermittelte Werte außerhalb des Normbereichs. Auf den Bereich des Primärtumors entfallen drei pathologische Meßwerte, während der übrige Wert einer Knochenmetastase im Scheitelbereich zugeschrieben werden muß. Die abnorme Speicherung über dem Jochbogen sowie der medialen Kieferhöhlenwand geben Hinweis auf die röntgenologisch gesicherte Ausbreitungsrichtung. Die stärkste Speicherung mit beinahe der doppelten Durchschnittsanreicherung liegt lateral vom Ausgansort der Geschwulst über dem Jochbogen. Im seitlichen Bild fallen die Bereiche unmittelbar über dem Sinus maxillaris und über der Kalotte durch ihre stark erhöhte Schwärzungsintensität auf. Der Grad der krank-

haften Konzentrierung von Tracersubstanzen wird durch die Quotienten aus Werten symmetrischer Bereiche über den Kieferhöhlen nachdrücklich unterstrichen. Bei einem Vergleich der sich in der Regel auf Einzelfälle stützenden Erfahrungen anderer Autoren, die über das Speicherungsvermögen entzündeter Kieferhöhlen berichtet haben, werden die hier erhaltenen Ergebnisse nur zum Teil bestätigt. Der von Neef (40) gezogene Schluß, daß einfache Sinusitiden keine pathologisch vermehrte Anreicherungen verursachen können, deckt sich mit dem Resultat dieser Arbeit, wenn nur die Frontalaufnahmen berücksichtigt werden. Bei Kieferhöhlenentzündungen, die zwar ebenfalls ohne röntgenologisch nachweisbaren Knochendestruktionen einhergehen, sich aber ätiologisch sowie im Krankheitsverlauf von der einfachen Sinusitis unterscheiden, wie Mukozelen, Wucherung von Granulationsgewebe bei nicht resorbierten Antibiotikakapseln oder Zysten mit Druckatrophie, stellte sie hingegen stark vermehrt Anreicherungen fest. Diese Befunde sind bei differentialdiagnostischen Überlegungen in der Metastasensuche oder bei Abklärung der Expansionstendenz und Dynamik eines bekannten Oberkiefercarcinoms von großer praktischer Bedeutung. Mit dieser Arbeit übereinstimmende Befunde wurden von Frey und Mitarb. (25) erhoben, wenn sie behaupten, daß blande Entzündungen der Nebenhöhlen in der Regel keine oder nur gering Speicherungen besitzen, denn die hier gefundenen etwa 50% positiven Szintigramme liegen zum größten Teil nur knapp über dem Normbereich. Deutliche Anreicherungen fand Frey jedoch bei anderen entzündlichen Prozessen wie Osteomyelitis, bei der Sinusitis mit nicht resobierten Antibiotika-Plomben und bei einem Teil der Mukozelen. Bei einer ausgeprägten Osteokondensation einer sklerosierenden Sinusitis max. registrierte er hingegen ein unauffälliges Szintigramm.

Bei der späteren Operation sei ein kalk- und knochendurchsetztes Granulationsgewebe von der hinteren Kieferhöhlenwand abgemeißelt worden. Dieser Befund unterstreicht sicherlich einmal mehr die Aktivitätsabhängigkeit eines Prozesses als die grundsätzliche Nichtanreicherung entzündlicher Kieferhöhlenerkrankungen. Weiterhin bestätigt wird diese Tatsache durch die erfahrungsgemäß starke Herdanreicherung expansiv wachsender Osteome der Stirnhöhle, während solche ohne Wachstumstendenz szintigraphisch negativ sein können.

VI. Zusammenfassung

Bei 19 Probanden, die anamnestisch und zum Zeitpunkt der Untersuchung keinen Anhalt für eine Kieferhöhlenentzündung boten, wurde ein Schädelszintigramm in der frontalen und in einer lateralen Projektion angefertigt. Mit Hilfe densitometrischer Messungen am Photoszintigramm in einheitlich festgelegten Bezirken wurde dabei unter Benutzung einer mit einem Keilphantom gewonnen Eichkurve quantitativ die relative prozentuale Aktivitätsverteilung ermittelt. Von jedem einzelnen Bereich wurde ein Durchschnittswert in Prozent mit der dazugehörigen zweifachen Standardabweichung abgeleitet. Als zusätzliches Beurteilungskriterium des Aktivitätsmusters wurden Durchschnittsquotienten mit zweifacher Standardabweichung aus Werten jeweils von zwei zueinander symmetrischen Bereichen über den Kieferhöhlen errechnet. Als pathologisch wurde eine Anreicherung gewertet, wenn sie über dem 2s-Bereich lag; Quotientenwerte galten als pathologisch, wenn sie sich außerhalb der zweifachen Standardabweichung befanden. Unter diesem Aspekt wurden die Photoszintigramme von Patienten ausgewertet, die klinisch sowie röntgenologisch Symptome einer Sinusitis maxillaris zeigten. Insgesamt wurden 48 Patienten mit dieser Krankheit densitometrisch ausgewertet. Von 46 Untersuchten lagen jeweils ein frontales sowie ein seitliches Szintigramm vor. Aufnahmen sowohl in frontaler als auch gleichzeitig in seitlicher Projektion standen nur von 44 der desometrisch ausgewerteten Patienten zur Verfügung. In einem Kollektiv A wurden jeweils alle szintigraphierten Patienten zusammengefaßt, während in einem Kollektiv B nur solche Patienten ohne kurz vorangegangener Spülung oder länger zurückliegender Kieferhöhlenoperation vertreten waren. Anreicherungen über den Faktor 1,4 wurden in den

Frontalszintigrammen, über den Faktor 1,6 in den seitlichen Szintigrammen nie beobachtet. In den frontalen Bildern des Kollektivs B beschränkt sich die Abweichung vom Mittelwert auf den Faktor 1,3. Rund 30% des Patientenguts in Kollektiv A und 20% in Kollektiv B fallen in Szintigrammen der Vorderansicht durch pathologische Anreicherungen auf, sofern die ermittelten Quotienten (Aktivitätsverhältnis rechts: links) bei der Auswertung mitherangezogen werden. Ohne Berücksichtigung dieser Seitenquotienten tritt bei den 46 Patienten nur bei vier des Kollektivs A und bei einem des Kollektivs B eine pathologische Speicherung in Erscheinung. Die seitlichen Szintigramme zeigen in der Hälfte der untersuchten Fälle des Kollektivs A und bei etwa 35% des Kollektivs B eine pathologische Speicherung. Werden beide Projektionen, die frontale und eine seitliche, in der Auswertung berücksichtigt, so zeigen von den 44 Patienten mit Sinusitis maxillaris 60% des Kollektivs A und 70% des Kollektivs B mindestens eine pathologische Anreicherung, wenn die Quotientenberechnung aus den Frontalszintigrammen für die Beurteilung herangezogen wird.

VII. Literaturaufstellung

1. ACKERHALT R.E., M. Blau, S. Bakshi, J.A. Sondel: A Comparative Study of three Tc-99m-Labeled Phosphorous Compounds an ^{18}F-Fluoride for Skeletal Imaging
Journal of Nuclear Medicine, volume 14, Number 6

2. ASNIS, S.E., L.M. Blau, W.H. Bohne: A comparison of ^{18}F and ^{85}Sr scintimtric patterns by computerized data analyses and display
Radiology 106 (1973) 607-614

3. BESSLER, W.: Skeletal scintigraphy as an aid in practical roentgenographic diagnosis
Amer. J. Roentgenology 102, (1968) 899-907

4. BESSLER, W.: Die Radiostrontiumszintigraphie beim Plasmozytom Fortschr.Röntgenstr. 116 (1962) 64-72

5. BESSLER, W.: Szintigraphische Untersuchungen bei Skelettsystemerkrankungen Radiologe 13 (1973) 117/124

6. BLAU, M., W. Nagler, M.A. Bender: Fluorine 18: A new isotope for bone scanning
J. Nucl. Med. 3 (1962) 322

7. BOENNINGHAUS, H.G.: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde
Springer Verlag 1972

8. BÖLL, U. und K.W. Frey: Untersuchungen zur Knochenanreicherung von ^{99m}Tc-Pyrophosphat, ^{99m}Tc-Polyphosphat und Radiostrontium
Fortschr. Röntgenstr. 119 (1973) 569-577

9. BÖLL, U., D. Balser, K.W. Frey: Vergleichende Untersuchungen zur Verteilung von ^{99m}Tc-Pyrophosphat, ^{99m}Tc-diphosphonat und ^{85}Sr
Fortschr. Röntgenstr. 120 (1974) 481-488

10. BÖLL. U., M. Schattenkirchner, K.W. Frey: Vergleich röntgenologischer und szintigraphischer Befunde bei der Spondylitis ankylopoetica
Fortschr. Röntgenstr. 121 (1974) 369

11. BÖLL, U.: Nuklearmedizinische Diagnostik entzündlicher und degenerativer Erkrankungen der Hüft- und Kniegelenke, sowie der Wirbelsäule
Habilitätion, Universität München 1974

12. CASTRONOVO, F.P., M.S. Potsaid, H.P. Pendergrass: Effects of radiation therapy on bone lesions as measured by ^{99m}Tc-Diphosphonate
J. Nucl. Med. 14 (1973) 604-605

13. CHONE, B., P. Schenk, H. Becker: Frühdiagnostik von ossären Metastasen mit Hilfe der ^{87m}Sr-Szintigraphie
10. Int. Jahrestagung d. Ges. f. Nukl. Med. Freiburg 1972

14. CITRIN, D.L. at all: A comparison of phophate bone-scanning agents in normal subjects and patients with malignant disease
Brit. J. of Radiology 48 (1975) 118-121

15. COHEN, Y.M., Perez, R. Henry, A. Bardy, Ch. Fannecierre: Radiopharmacologie - Utilisation du pyrophosphate de sodium marquē par le technetium ^{99m}dans la szintigraphie du squelette
C.R. Accad. Sc. Paris (1972) 275

16. De TREADWELL, A., B.V.A. Low-Beer, H.L. Fidell: Metabolic Studis on Neoplasm of Bone with the Aid of Radioaktive Strontium
Am. J.M.S. 204 (1942) 52 zitiert von Gymning (1961)

17. DOW, E.C., J.B. Stanbury: Strontium and Calcium metabolism in metabolic bone diseases
J. Clin. Invest. 39 (1960) 885-902

18. DREYER, J., P. Georgi: Möglichkeiten und Grenzen der Skelettszintigraphie für die Orthopädie
In: H. Cotter (Hsrg.): Akuelle Orthop. Nr. 4
Thieme, Stuttgart (1972)

19. FILL, H.W., Zechmann, J. Oberhammer, G. Riccabona: Knochenszintigraphie mit ^{99m}Tc-Pyrophosphat: Pharmakokinetik der Substanz und klinische Erfahrungen bei der Szintigraphie
Univers.-Klinik Innsbruck (Mai 1975)

20. FIRUSIAN, N., G. Becker: Kinetische Aspekte der Skeletterkrankungen
Vortr. 12. Int. Jahrestagg. d. Ges. f. Nukl. Med.
München (1974)

21. FLEISCH, H., R.G. Russell, F. Straumann: Effect of pyrophosphate on hydroxyapatite and its implication in calcium homeostasis
Nature (Lond.) 122 (1966) 901

22. FRENCH, R.J., V.R. McCready: The Use of 18-F for bone scanning
Brit. J. Radiol. 40 (1967) 655-661

23. FREY, K.W., U. Büll: Profilmessung und Szintigraphie mit ^{85}Strontium und ^{87m}Strontium zur Verlaufsbeobachtung von Knochenerkrankungen
Röntgen-Bl. 4, 208 (1971)

24. FREY, K.W.; Büll, U.; Hueber, M., Heenemann, H und Münzel, M.: Szintigraphie mit Tc-99m-Pyrophosphat, Tc-99m-Polyphosphat, Sr-87m und Profilmessungen mit Sr-85 im Vergleich mit der Röntgen-Tomographie bei Erkrankungen des Gesichtsschädels und der Schädelbasis. Kongreßband'Nuklearmedizin' 11. Tag. Ges.Nuklear-med., Athen 1973, pp. 453-458 (Schattauer, Stuttgart 1974

25. FREY, K.W., M. Hueber, M. Münzel, R. Rohloff:
Szintigraphie bei Tumoren und entzündlichen
Prozessen der Schädelbasis
Röntg.-Berichte Band 5, Heft 2, Juni 1976

26. FREY, K.W., M. Hueber, R. Rohloff, U. Büll
an R. Neef: A Pomparison of Bone Scintigraphie
and Tomography in Diseases of Paranaal Sinus
and of the Base of the Skull
Adv. Oto-Rhino-Laryng., vol. 24, pp. 177-196 (1978)

27. FREY, K.W., H.v. Lieven, R. Rohloff und G. Schober:
Skelettszintigraphie zur Diagnostik und Therapie-
beurteilung von Erkrankungen der Nasennebenhöhlen
und der Schädelbasis.
Kongreßband 'Nuklearmedizin'. 15. Tag Ges.
Nuklearmed., Groningen 1977, p. 316 (Schattauer,
Stuttgart 1979)

28. FREY, K.W., M. Sch. Scheybani, A. Sonntag,
P. Fuchs: Die Knochenszintigraphie mit Strontium 85
und ihre klinische Bedeutung
Med. Klin. 62, 978 (1967

29 GREENBERG, E.J., D.A. Weber, R. Pochaczewsky,
P.J. Kenny, W.P.L. Myers, J.S. Laughlin:
Detection of neoplastic bone lesions by
quantitative scanning and radiography
J. Nucl. Med. 9 (1968) 613-620

30. GYMNING, J., P. Langeland, S. Lindberg u.a.:
Localisation with Sr-85 of Spinal Metastases
in Mammary Cancer and Changes in Uptake after
Hormone and Roentgen Therapy.
Acta radiol. 55 (1961) 119-128

31. HEENEMANN, H.R.: Profilmessung und Szintigraphie des Schädels mit Radiostrontium
Universität München 1971, Dissertation

32. HEONEY, R.P., G.D. Whedon: Radiocalcium studies of bone formation rate in human metabolic bone disease
J. Clin. Endocrinology 18 (1958) 1246-1267

33. HENNE, W., P. Pfannenstiel, H.U. Pixberg: Technetiumpolyphosphat und Technetiumdiphosphat
Nukl. Med. Abt. (Feb 1975)

34. HOFFMANN, H.C., R. Marty: Bone scanning: Its value in preoperative evaluation of patients with suspicious breast masses
Amer. J. Surg. 124, (1972) 194-198

35. HOLMES, J.M., R.A. Beebe, A.S. Posher, R.A. Harper: (zit. nach IRVING, I.T.): Proc. Soc. Exp. Biol. nach IRVING, I.T): Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 133 (1970) 1250

36. HOSAIN, P.M., Sc., A.I.N.P.: Technetium 99m labelled pyrophosphate a simple and reproducible bone scanning agent
Department of Radiological Science (Mai 1973)

37. KANE, S.M., G.L. Brownell, J.B. Stanbury, H. Corrigan: The effect of thyriod disease on Calcium metabolism in man J. Clin. Invest. 35 (1956) 874-887

38. KOLAR, J., V. Bek, J. Marek, A. Babicky: Zur Deutung des ausgedehnten Knochenumbaus bei der ^{85}Sr-Diagnostik
Fortschr. Röntgenstr. 118, 319 (1973)

39. MÜNZEL, M., K.W. Frey. U. Büll: Szintigraphische Untersuchungen des Gesichtsschädels
Arch. klin. exp. Ohr.-Nas.- und Kehlk.-Heilkunde 205 (1973) 343-348

40. NEEF, R.,: Die Szintigraphie des Schädels mit ^{99m}Tc-Pyrophosphat, ^{87m}Sr und ^{85m}Sr
München 1976

41 PFANNENSTIEL, P.: Szintigraphie von Knochen, Knochenmark und Gelenken
Med. Welt 24, 343 (1973)

42. PIASZEK, L., K.U. Tiedjen, M.W. Strötges: Möglichkeiten und Grenzen nuklearmedizinischer Untersuchungsmethoden zum Nachweis maligner und benigner Knochenumbau-Prozesse
Radiologe 16 (1976) 29-37

43. ROSENTHALL, L.: The role of Strontium 85 in the detection of bone disease
Radiology 84 (1965) 75-82

44. SCHMITT, G., M.W. Strötges, V. Reinecke: Vergleichende quantitative szintigraphische Untersuchungen mit ^{99m}Tc-Pyrophosphat und ^{85}Sr bei pathologischen Knochenumbauprozessen
Universitätsklinikum Essen 1973

45. SILBERSTEIN, E.B., E.L. Saenger, A.J. Tofe, G.W. Alexander, H.M. Park: Imaging of bone metastases with ^{99m}Tc-Sn-EHDP (Diphosphonate), ^{18}F and skeletal radiography
Radiology 107 (1973) 551-555

46. SKUPENOVA, A., I. Hupka, V. Kovac u.a.: Profilographische Untersuchungen pathologischer Herde des Skeletts mit Radiostrontium 85-Sr
Nucl. Med. 7 (1968) 37-45

47. SNOW, R.M., D.A. Weber: Time-dependent image quality using ^{99m}Tc-Pyrophosphate
(Mai 1975)

48. SPIEGLER, G.,: In: Bildgüte in der Radiologie:
F.E. Stiewe Gustav Fischer Verlag Stuttgart (1966)

49. SUBRAMANIAN, G., J.G. McAfee: A new complex of ^{99m}Tc for skeletal imaging
Radiology 99 (1971) 192-196

50. SUBRAMANIAN, G., J.G. McAfee, R.E. O-Mara: ^{99m}Tc-Pöoy-phosphat pp-46. A new pharmcentical for skeletal imaging
J. Nucl. Med. 12 (1971) 399

51. SUBRAMANIAN, G., J.G. McAfee, R.J. Blair, A. Mehter, T. Connor: ^{99m}Tc-EHDP: A potential radiopharmaceutical for skeletal imaging
J. Nucl. Med. 13 (1972) 947-949

52. STRÖTGES, M.W.: Nuklearmedizinische Untersuchungen des Skeletts Krankenhausarzt 4, 1 (1970)

53. UMEK, H., H. Czitober, M. Meixner, R. Strassl:
Zur Aktivitätsbeurteilung der fibrösen Knochen-dysplasie mittels Szintigraphie und Thermographie
Nicl. Med. 10 (1971) 276-285

54. UMEK. H., H. Imhof, H. Czitober: Szintigraphische Aktivitätsbeurteilung bei der Osteodystrophia deformans (Paget). Ein Vergleich röntgenologischer, biochemischer und szintigraphischer Untersuchungen bei 19 Patienten
Nucl. Med. 10 (1971) 115-121

55. WICKENHAUSER, J.,: Nuklearmedizinische Untersuchungen des Schädelskeletts im Rahmen entzündlicher Erkrankungen. Kongreßband 'Nuklearmedizin'. 15.Tag. Ges. Nuklearmed., Groningen 1977, p. 321 (Schattauer, Stuttgart

56. WICKENHAUSER, J.,: Skelettszintigraphie im Rahmen der Tumordiagnostik des Schädels. Kongreßband 'Nuklearmedizin'. 15. Tag. Ges. Nuklearmed., Groningen 1977, p. 321 (Schattauer, Stuttgart 1979)

57. WEBER, and others: ^{99m}Tc-Pyrophosphate for Diagnostic Bone Imaging
Radiology 113 (1974) 131-137

58. YANO, Y., J. McRai D.C. VanDyke, H.O. Anger: Technetium ^{99m}-labeled stannous Etthane-1-Hydroxy-1-1 Diphosphonate:
A new bone scanning agent
J. Nucl. Med. 14 (1973) 73-78

Herzlicher Dank für die Überlassung des Themas sowie für die Korrektur der Arbeit gebührt Herrn Prof. Dr. K.W. Frey.

Insbesondere gilt mein Dank auch Herrn Dr. R. Rohloff, der mich bei der Ausarbeitung unterstützte und allen Ärzten und Angestellten der Zentralen Röntgenabteilung, die mir durch ihre Hilfe die Arbeit erleichterten.

LEBENSLAUF

Am 26. April 1952 wurde ich als zweites Kind des Landwirts Jakob Rauscher und seiner Ehefrau Zita, geb. Drever, in Weilach geboren.

Nach fünf Jahren Volksschule trat ich 1963 in das Mathematisch-Naturwissenschaftliche Gymnasium Schrobenhausen über, wo ich 1972 die Reifeprüfung ablegte.

Nach sechsjährigem Studium der Humanmedizin an der Universität München bestand ich am 20. November 1978 das Staatsexamen.

Im Augenblick bin ich als Assistenzarzt auf der chirurgischen Abteilung des Kreiskrankenhauses Schrobenhausen tätig.